

АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: управление и высокие технологии

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020

№ 4 (52)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям.

Группа специальностей 05.11.00 «Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы»:

- 05.11.01 – Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки);
- 05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы (по отраслям) (технические науки);
- 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Группа специальностей 05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»:

- 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям) (технические науки);
- 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (технические науки);
- 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки);
- 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки);
- 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки);
- 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки).

Журнал входит в базу данных Ulrich's Periodicals Directory.

Астрахань

Издательский дом «Астраханский университет»

2020

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Астраханского государственного университета

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ:
управление и высокие технологии
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020
№ 4 (52)

Редакционная коллегия

И.М. Ажмухамедов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Астраханского государственного университета (главный редактор)

И.В. Аникин, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Системы информационной безопасности» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ

А.А. Большаков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и управления» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)

Ж.И. Батырканов, доктор технических наук, профессор, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (Кыргызская Республика, г. Бишкек)

С.Н. Гончаренко, доктор технических наук, профессор, профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (г. Москва)

Л.А. Демидова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вычислительной и прикладной математики» Рязанского государственного радиотехнического университета (г. Рязань)

И.Ю. Квятковская, доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий и коммуникаций Астраханского государственного технического университета

А.Г. Кравец, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета

В.Ю. Кузнецова, ассистент кафедры информационной безопасности Астраханского государственного университета (ответственный секретарь)

Ю.В. Литовка, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета

А.М. Лихтер, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Общая физика» Астраханского государственного университета

А.А. Лобатый, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск)

В.В. Морозов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (г. Владимир)

Е.В. Никульчев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и моделирование систем» Московского технологического университета (МИРЭА) (г. Москва)

В.О. Осипян, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные технологии» Кубанского государственного университета (г. Краснодар)

И.Ю. Петрова, доктор технических наук, профессор, первый проректор Астраханского государственного архитектурно-строительного университета, заведующая кафедрой САПР Астраханского государственного архитектурно-строительного университета

А.В. Рыбаков, кандидат физико-математических наук, директор «Физико-математического института» Астраханского государственного университета; доцент кафедры электротехники, электроники и автоматики Астраханского государственного университета

А.В. Скрипаль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Медицинская физика» Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

И.Б. Старченко, доктор технических наук, профессор, ООО «Параметрика», научный руководитель (г. Таганрог Ростовской области)

Ю.Ю. Тарасевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор Астраханского государственного университета, заведующий лабораторией «Математическое моделирование и информационные технологии в науке и образовании»

Т.Л. Тен, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Карагандинского экономического университета (Республика Казахстан, г. Караганда)

Е.Н. Тищенко, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и защита информации» Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) – г. Ростов-на-Дону

М.А. Ураксеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Уфимского государственного авиационного технического университета

С.А. Филист, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия» Юго-Западного государственного университета (г. Курск)

Л.Р. Филопова, доктор технических наук, профессор, декан факультета Вычислительной техники, заведующая кафедрой «Информационное обеспечение управления и производства» Пензенского государственного университета

В.А. Цимбал, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого МО в г. Серпухов Московской области)

Н.К. Юрков, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Пензенского государственного университета

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science, University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS dept. and MBDS innovation lab (www.mbd-fr.org)

Журнал выходит 4 раза в год
Все материалы, поступающие в редколлегию журнала,
проходят независимое рецензирование

© Астраханский государственный университет,
Издательский дом «Астраханский университет», 2020
© Свиридов В. Б., дизайн обложки, 2020

ASTRAKHAN STATE UNIVERSITY

**PRIKASPIYSKIY ZHURNAL:
Upravlenie i Vysokie Tekhnologii**

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

2020

No. 4 (52)

The journal is included in the list of the reviewed scientific journals recommended by VAK of Russia for the publication of the main scientific results of theses for the candidate of science degree, for the doctor of science degree on the following scientific specialties.

Group of specialties 05.11.00 “Instrument engineering, measurement science, information and measuring devices and systems”:

05.11.01 – Instruments and measurement methods (by measurement types) (technical sciences);

05.11.16 – Information-measuring and control systems (by branches) (technical sciences);

05.11.17 – Medical instruments, systems and items (technical sciences).

Group of specialties 05.13.00 “Informatics, computer technique and control”:

05.13.01 – System analysis, information control and processing (by branches) (technical sciences);

05.13.05 – Components and devices of computational tools and control systems (technical sciences);

05.13.10 – Management in social and economic systems (technical sciences);

05.13.11 – Mathematical software and software for computing machines, computer systems and networks (technical sciences);

05.13.18 – Mathematical modelling, numerical methods and complexes of programmes (technical sciences);

05.13.19 – Information security methods and systems, information security (technical sciences).

The journal is included into the database Ulrich’s Periodicals Directory.

Astrakhan
Publishing House “Astrakhan University”
2020

Recommended by the Editorial and Publishing Board
of Astrakhan State University

**CASPIAN JOURNAL:
Control and High Technologies**

A SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**2020
No. 4 (52)**

Editorial Board

I.M. Azhmukhamedov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Security Department, Astrakhan State University (Editor-in-Chief)

I.V. Anikin, Doct. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of Information Security System Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI»

A.A. Bolshakov, Doct. Sci. (Engineering), Professor of «Systems of Automated Design Engineering and Control» department, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)

Zh.I. Batyrkanov, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razza-kov (Kyrgyz Republic, Bishkek)

S.N. Goncharenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the National University of Science and Technology «MISIS» (Moscow)

L.A. Demidova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Computational and Applied Mathematics Department, Ryazan State Radio Engineering University (Ryazan)

I.Yu. Kvyatkovskaya, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of «Information Technologies and Communications» Institute of the Astrakhan State Technical University

A.G. Kravets, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Automated Design Engineering Systems and Search Constructing Department, Volgograd State Technical University

V.Yu. Kuznetsova, assistant of Information Security Department, Astrakhan State University (Executive Editor)
Yu.V. Litovka, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Automated Support System for Decision-Making, Tambov State Technical University

A.M. Likhter, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of General Physics, Astrakhan State University

A.A. Lobaty, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of Information Systems and Technologies Department, Belarusian National Technical University (Belarus, Minsk)

V.V. Morozov, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov (Vladimir)

E.V. Nikulchev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the System Management and Modeling Department, Moscow Technological University (Moscow)

V.O. Osipyan, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the Kuban State University (Krasnodar)

I.Yu. Petrova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, First Vice-Rector of the Astrakhan State Architectural and Construction University, Head of the CAD department of Astrakhan State Architectural and Construction University

A.V. Rybakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Director of the Institute of Physics and Mathematics, Astrakhan State University

A.V. Skripal, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Head of Medical Physics Department of the Saratov national research State University named after N.G. Chernyshevsky

I.B. Starchenko, Doct. Sci. (Engineering), Professor, OOO «Parametrica» (Taganrog, Rostov Oblast), Research Supervisor

Yu.Yu. Tarasevich, Doct. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Professor of the Astrakhan State University, head of the laboratory «Mathematical modeling and information technologies in science and education»

T.L. Ten, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Karaganda Economic University (Republic of Kazakhstan, Karaganda)

E.N. Tishchenko, Doct. Sci. (Economics), Professor, Head of the Information Technologies & Information Security Department, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don

M.A. Urakseev, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Information and Measuring Equipment department of Ufa State Aviation Technical University

S.A. Filist, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Professor of Biomedical Engineering Department, Southwest State University (Kursk)

L.R. Fionova, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Dean of the Computer Technology Faculty, Head of the Department «Information Support of Management and Production, Penza State University

V.A. Tsimbal, Doct. Sci. (Engineering), Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor, Professor of the Automated Control Systems Department (Branch of the Military Academy of the Russian Strategic Missile Forces named after Peter the Great of the Moscow Oblast, Serpukhov, Moscow Oblast)

N.K. Yurkov, Honored worker of science of the Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Head of the department «Designing and production of the radio equipment», Penza State University

N.A. Kolesova, PhD, Check Point Software Technologies LTD, Tel-Aviv, Israel

Serg Miranda, PhD (Toulouse University, France), – Master thesis at UCLA (University of California, Los Angeles with an INRIA Scholarship), Professor of Computer Science dept., University of Nice – Sophia Antipolis (Nice, France), Director of the CS department and MBDS innovation lab (www.mbd-s-fr.org)

The journal is published four times a year
All materials that come to the Editorial Board of the journal
are subject to independent peer-review

© Astrakhan State University,
Publishing House «Astrakhan University», 2020
© V. B. Sviridov, cover design, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

М. В. Деев, А. Г. Финогеев, А. А. Финогеев, Л. А. Гамидуллаева

Модели и методики актуализации образовательных программ
и контента в рамках построения интеллектуальных образовательных систем 9–20

С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович

Метод последовательного уточнения границ на изображениях дорожной обстановки..... 21–31

В. А. Erkulov, I. M. Azhmukhamedov

Methodology for assessing the level of information security
of the educational information system based on
fuzzy classifier and hierarchy of damages..... 32–38

Н. Ш. Мадибрагимов, А. В. Пруцков

Классификация существительных таджикского языка
для автоматической обработки текстов..... 39–52

В. Ф. Шуршев И. И. Шукуров

Разработка концептуальной модели информационной системы
мониторинга банкротства 53–58

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Н. В. Литовка, Т. А. Видовская

Разработка геоинформационной системы размещения
нефтегазодобывающего комплекса 59–65

Э. Р. Гараева, И. И. Бикмуллина, И. А. Барков

Особенности подготовки 3D-объектов, смоделированных
в Blender, для импорта в Unity 3D 66–74

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

М. М. Путьато, А. С. Макарян, А. Н. Черкасов, И. Г. Горин

Адаптивная система комплексного обеспечения безопасности
как элемент инфраструктуры ситуационного центра 75–84

М. М. Путьато, А. С. Макарян, Ш. М. Чич, В. К. Маркова

Исследование применения технологии deception
для предотвращения угроз кибербезопасности..... 85–98

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. А. Трифонов, С. А. Филист, А. А. Кузьмин,

В. В. Жилин, Е. В. Петрунина

Двухуровневая нейросетевая модель дешифратора
электромиосигнала в системе управления вертикализацией экзоскелета 99–111

**С. Е. Драгунов, С. С. Попова, А. В. Матохина,
М. А. Чернецкий**

Внедрение цифрового двойника на примере мониторинга
состояний экзоскелетного тренажёра Rejoint..... 112–118

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Ю. М. Бруштейн, О. В. Шипилова

Направления применения адаптивных методов в контрольно-обучающих системах
(на примере изучения информатики младшими школьниками)..... 119–132

Т. М. Волосатова, Д. А. Барсуков, П. И. Тамков

Анализ направлений применения принципа модульности
при разработке и использовании учебных проектов по робототехнике в вузах..... 133–148

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ149

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER TECHNIQUE AND CONTROL

SYSTEM ANALYSIS, CONTROL AND INFORMATION PROCESSING

M. V. Deev, A. G. Finogeev, A. A. Finogeev, L. A. Gamidullaeva

Models and methods of actualization educational programs
and content in the framework of building smart learning environment..... 9–20

S. A. Lyasheva, M. P. Shleymovich

Method of boundaries sequential refining in the images of traffic conditions..... 21–31

B. A. Erkulov, I. M. Azhmukhamedov

Methodology for assessing the level of information security
of the educational information system based on
fuzzy classifier and hierarchy of damages..... 32–38

N. Sh. Madibragimov, A. V. Prutzkov

Classification of nouns of the Tajik language for natural language processing 39–52

V. F. Shurshev, I. I. Shukurov

Development of a conceptual model of the bankruptcy monitoring information system 53–58

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM SYSTEMS

N. V. Litovka, T. L. Vidovskaya

Development of a geographic information system
for the location of an oil and gas production complex 59–65

E. R. Garaeva, I. I. Bikmullina, I. A. Barkov

Features of preparing 3D objects modeled in Blender for import into Unity 3D..... 66–74

INFORMATION SAFETY AND INFORMATION PROTECTION

M. M. Putyato, A. S. Makaryan, A. N. Cherkasov, I. G. Gorin

Adaptive integrated security assurance system as an element
of the infrastructure of the situation center..... 75–84

M. M. Putyato, A. S. Makaryan, Sh. M. Chich, V. K. Markova

Research on the use of deception technology to prevent cybersecurity threats 85–98

INSTRUMENT ENGINEERING, MEASUREMENT SCIENCE, INFORMATION AND MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

MEDICAL INSTRUMENTS, SYSTEMS AND ITEMS

***A. A. Trifonov, S. A. Filist, A. A. Kuzmin,
V. V. Zhilin, E. V. Petrunina***

Two-level neural network model of electromiosignal decoder
in exoskeleton verticalization control system 99–111

**S. E. Dragunov, S. S. Popova, A. V. Matokhina,
M. A. Chernetsky**

Implementation of a digital twin using the example
of state monitoring of the Rejoint exoskeleton trainer 112–118

INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

Yu. M. Brumshtein, O. V. Shipilova

Directions of adaptive methods use in test-learning systems
(by the example of studying informatics by junior schoolchildren) 119–132

T. M. Volosatova, D. A. Barsukov, P. I. Tamkov

Analysis of directions for using the principle of modularity
in the development of training projects on robotics in universities 133–146

RULES FOR THE AUTHORS 149

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.009-020
УДК 378, 004.942

МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ АКТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ И КОНТЕНТА В РАМКАХ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ¹

Статья поступила в редакцию 20.08.2020, в окончательном варианте – 23.10.2020.

Деев Михаил Викторович, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40,
кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0876-3566>, e-mail: miqz@yandex.ru

Финогеев Алексей Германович, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40,
доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-3364>, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com.

Финогеев Антон Алексеевич, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: fanton3@ya.ru

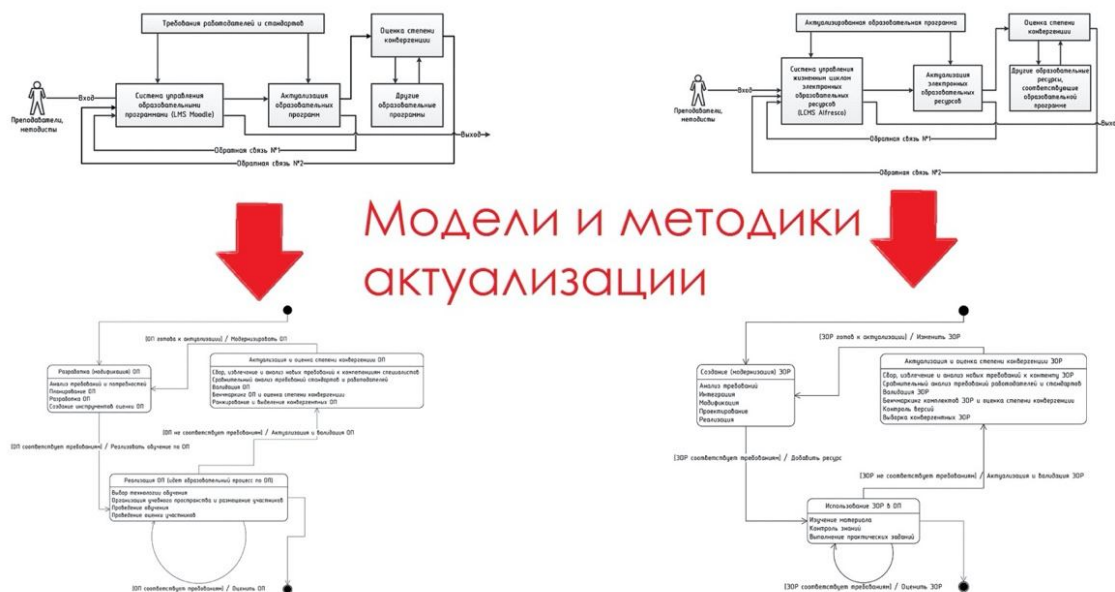
Гамидуллаева Лейла Айваровна, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40,
доктор экономических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3042-7550>, e-mail: gamidullaeva@gmail.com

Цель исследования – повышение качества процесса подготовки специалистов в процессе актуализации образовательных программ и учебного контента с учетом меняющихся требований профессиональных стандартов и работодателей в условиях перехода к инновационной экономике. Для достижения цели решены следующие задачи: разработаны методы мониторинга требований работодателей, образовательных и профессиональных стандартов, модели жизненных циклов образовательных программ и электронных ресурсов с этапами актуализации, методы актуализации образовательных программ с адаптивной настройкой на требования работодателей в интеллектуальной образовательной среде. Авторами исследованы проблемы мониторинга требований работодателей и адаптации электронных образовательных ресурсов и программ к ним, особенности модернизации их в непрерывном процессе подготовки специалистов. Рассмотрены новые модели управления процессами актуализации и персонализации образовательного контента и программ обучения. Реализована методика адаптации образовательных программ и контента с помощью инструментальных средств интеллектуальной образовательной среды (Smart Learning Environment). Предложенные модели и методики позволяют учитывать спектр внешних условий рынка труда и требований работодателей к образовательным программам и ресурсам, строить геотеггированные модели для оценки территориального распределения требований к компетенциям специалистов в регионах с учетом местоположения высших учебных заведений в смежных областях.

Ключевые слова: управление, CMS, жизненный цикл, электронный образовательный ресурс, интеллектуальная образовательная среда, схема управления

¹ Результаты работы получены при финансовой поддержке РФФИ в рамках грантов № 19-013-00409-а, 18-07-00975-а, 18-010-00204-а. Результаты исследований, представленные в основном разделе, получены за счет средств Российского научного фонда (проект № 20-71-10087).

Графическая аннотация (Graphical annotation)



MODELS AND METHODS OF ACTUALIZATION EDUCATIONAL PROGRAMS AND CONTENT IN THE FRAMEWORK OF BUILDING SMART LEARNING ENVIRONMENT

The article was received by the editorial board on 20.08.2020, in the final version – 23.10.2020.

Deev Mikhail V., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0876-3566>, e-mail: miqz@yandex.ru

Finogeev Alexey G., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-3364>, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

Finogeev Anton A., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: fanton3@ya.ru

Gamidullaeva Lejla A., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, Doct. Sci. (Economics), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3042-7550>, e-mail: gamidullaeva@gmail.com

The purpose of the study is to improve the quality of the process of training specialists in the process of updating educational programs and educational content, taking into account the changing requirements of professional standards and employers in the transition to an innovative economy. To achieve the goal, the following tasks were solved: methods for monitoring employers' requirements, educational and professional standards, models of life cycles of educational programs and electronic resources with stages of updating, methods for updating educational programs with adaptive adjustment to the requirements of employers in an intelligent educational environment. The authors investigated the problems of monitoring the requirements of employers and adapting electronic educational resources and programs to them, the features of their modernization in the continuous process of training specialists. New models for managing the processes of updating and personalizing educational content and training programs are considered. A methodology for adapting educational programs and content has been implemented using the tools of the Smart Learning Environment. The proposed models and methods make it possible to take into account the range of external conditions of the labor market and employers' requirements for educational programs and resources, build geotagged models to assess the territorial distribution of requirements for the competencies of specialists in the regions, taking into account the location of higher educational institutions in related fields.

Keywords: management, CMS, life cycle, electronic educational resource, smart learning environment, management scheme

Введение. Появление, развитие и внедрение новых цифровых промышленных технологий в рамках четвертой индустриальной революции привело к необходимости перехода к процессу перманентного повышения квалификации и/или переподготовки квалифицированных специалистов после получения среднего специального или высшего образования в учебных заведениях [4]. Чтобы отвечать требованиям инновационной экономики, необходима динамическая актуализация

образовательных программ. Процесс морального старения учебно-методического контента происходит в результате ускоренного научно-технического прогресса, интеллектуализации промышленной сферы, повсеместного перехода к цифровым механизмам управления бизнес-процессами, отказа от неэффективных производственных технологий и т.п. Обучение по деактуализированным образовательным программам с использованием устаревшей материальной базы и прочих образовательных ресурсов приводит к невозможности получения необходимых компетенций будущими специалистами и, соответственно, к появлению риска их невостребованности на рынке труда [3].

Для снижения данного риска необходим систематический и постоянный мониторинг меняющихся требований инновационной экономики, работодателей и рынка труда в целом на предмет выявления новых трендов в условиях перехода к новым производственным технологиям [5].

Для поддержки процессов цифровой трансформации учебного процесса в направлении интеграции технологий мобильного, облачного, иммерсионного и смешанного обучения и поддержки синхронизации персонализированных траекторий обучения с результатами анализа требований работодателей разработаны и проведены экспериментальные исследования компонент интеллектуальной образовательной среды и системы адаптивного управления их взаимодействием [6].

Для интеллектуального поиска и сбора больших данных об условиях на рынке труда и требованиях работодателей разработаны методики и инструментальные средства для извлечения необходимой информации из открытых источников (сайты поиска работы, биржи труда, фирм и компаний, доски объявлений, базы данных вакансий, соц. сети и др.) с использованием геопространственной технологии сбора, обработки и загрузки данных в распределенное облачное хранилище для последующего анализа [7].

В данной статье рассматриваются вопросы разработки и применения моделей и методик актуализации образовательных программ и контента под требования цифровой экономики, описаны возможные методики и проблемы при мониторинге актуальных требований и работодателей и стандартов и актуализации образовательных программ, описаны модели жизненных циклов образовательных программ и электронных ресурсов с этапами актуализации, предложена методика актуализации в рамках реализации и применения информационной образовательной среды.

Теоретический обзор. Современное состояние научных исследований в данной области характеризуется интересом как со стороны ученых, так и представителей реального сектора экономики, заинтересованных в применении результатов исследований в своей практической деятельности [9].

Проведены фундаментальные проблемно-ориентированные исследования и получены результаты в области создания интеллектуальной образовательной среды (Smart Education Environment) для поддержки процессов электронного (e-learning), мобильного (m-learning), облачного (cloud learning) и смешанного (blended learning) обучения с возможностью автоматизированного адаптивного управления жизненными циклами электронных образовательных ресурсов, образовательных программ и стандартов, требований работодателей, инструментария обучения и процессами актуализации образовательных ресурсов и программ.

Исследования по данной научной проблеме ведутся в университетах США, Германии, Японии и ряда других стран.

В них приводятся принципы построения и применения интеллектуальной образовательной среды, предложены варианты разработки моделей актуализации образовательного контента и программ, рассмотрены ключевые характеристики и основные проблемы интеллектуального обучения, представлена концепция развития интеллектуальной образовательной среды для адаптации к меняющимся условиям.

В статье Alfred Essa «A possible future for next generation adaptive learning systems» (Springer, 2016) подробно рассмотрено возможное будущее для разработки адаптивных обучающих систем нового поколения, основанных на новых разработках в областях науки и технологий.

В статье Zhi-Ting Zhu, Ming-Hua Yu, Peter Riezebos «A research framework of smart education» (Springer, 2016) было рассмотрено определение интеллектуального образования и представлена концептуальная основа. Предложен комплекс ключевых особенностей интеллектуальных образовательных сред и представлена технологическая архитектура интеллектуального образования.

В научной работе Gwo-Jen Hwang «Definition, framework and research issues of smart learning environments – a context-aware ubiquitous learning perspective» (Springer, 2014) определение и критерии интеллектуальной образовательной среды представлены с точки зрения повсеместного обучения. Также предлагается структура для рассмотрения соображений проектирования и развития интеллектуальных обучающих сред для поддержки как онлайн, так и реальных учебных мероприятий. Кроме того, рассматриваются некоторые новые технологии, которые могут способствовать развитию интеллектуальных образовательных сред.

В статье Jon K. Price «Transforming learning for the smart learning environment: lessons learned

from the Intel education initiatives» (Springer, 2015) подробно рассматриваются контекстуальные факторы эффективной реализации информационных и коммуникационных технологий для интеллектуальных образовательных сред.

В статье А.В. Пелюшенко «Обучающие среды и интеллектуальные обучающие системы: возможности использования в образовательном процессе» рассмотрены основные типы интеллектуальных образовательных сред, приведена классификация обучающих систем, предложены варианты реализации интеллектуальных образовательных сред.

В статье Н.Н. Горбачева «Регулярная актуализация учебно-методического контента с использованием метаданных на основе моделирования предметной области» предложены методы обновления образовательного контента на основе модели предметной области вуза в виде онтологии.

В работе Д.С. Ботова «Интеллектуальная поддержка формирования образовательных программ на основе нейросетевых моделей языка с учетом требований рынка труда» предлагается использовать подходы к семантическому анализу текстов на основе нейросетевой модели языка при формировании образовательных программ.

При этом авторы статей по данной тематике не рассматривают методы синхронизации и конвергенции систем управления компонент интеллектуальной образовательной среды, предложенные модели и методы актуализации образовательных программ и контента не используют интеграционные возможности образовательных платформ, не учитывают все факторы, влияющие на процесс обновления учебного материала. На сегодняшний день проблема разработки компонент интеллектуальных образовательных сред, разработки методов управления процессами конвергенции и синхронизации программ и ресурсов с адаптивной настройкой на динамически меняющиеся требования образовательных стандартов и работодателей, разработки конвергентной модели интеллектуальной образовательной среды на базе сближения моделей управления контентом ЭОР, моделей управления ОП и моделей управления процессом подготовки все еще актуальна.

Проблемы мониторинга требований работодателей и актуализации образовательных программ. Первоочередной задачей мониторинга является поиск и сбор информации о новых требованиях к компетенциям специалистов в открытых источниках интернета, таких как разделы с вакансиями на сайтах предприятий, кадровых агентств, бирж труда, досках объявлений, на форумах, в чатах и группах социальных сетей и мессенджеров, в RSS (Rich Site Summary) рассылках и т.д. Для реализации задачи сбора данных целесообразно использовать поисковых роботов (краулеров), работающих на основе алгоритма «любопытный пользователь» [6]. В связи с огромным количеством возможных информационных источников в интернете для мониторинга и анализа собираемых данных наиболее востребованы технологии Big Data и интеллектуального анализа Data Mining.

После этапа сбора данных необходим анализ требований к компетенциям специалистов на основе консолидированной информации, полученной из разных источников с помощью краулеров. В процессе консолидации решаются задачи очистки данных, удаления дубликатов, объединения схожей или аналогичной информации, нормализации и систематизации данных, подготовки к загрузке в хранилище. Для оценки и пространственного анализа требований с учетом региональных особенностей рынков труда и последующей визуализации результатов цифровой на картографической основе вместе с конкретными данными в хранилище загружаются координаты работодателей (предприятий), давших объявление о требуемой квалификации, навыках и умениях специалиста, а также временные границы действия объявления. Геопространственная привязка к местности также необходима для синтеза графовой модели и анализа отношений между требованиями работодателей в регионах и компетенциями специалистов, которые в данный момент времени могут предложить региональные учебные заведения. С помощью данной модели выполняется анализ и оценивается необходимость актуализации образовательных программ и контента в выбранном регионе в образовательных организациях, а также экономическая целесообразность самой актуализации с учетом возможности подготовки специалистов в соседних регионах.

Таким образом, реализуется механизм временной и геотеггированной привязки текущих требований к компетенциям, который используется для предиктивного анализа и прогностического моделирования динамики изменений требований работодателей в конкретных регионах и в заданные временные горизонты прогнозов.

Также к проблемам мониторинга требований работодателей следует отнести нечеткости в определении наборов компетенций, необходимых для выполнения должностных обязанностей; значительная дифференциация в определениях умений и навыков, обозначенных в профессиональных и образовательных стандартах; нехватка квалифицированных специалистов в плане географии рынка труда (региональный кадровый резерв не всегда позволяет быстро найти сотрудника с определенными навыками и знаниями); высокая динамика изменений требований реального сектора экономики к знаниям специалистов. Данные проблемы приводят к невозможности быстрого

отслеживания и реагирования вузов на происходящие изменения на региональных рынках труда, что особенно характерно в условиях влияния глобальной пандемии, закрытия инновационных производств, роста безработицы и снижения потребностей в выпускаемых специалистах.

Геопространственный и временной анализы необходимы для оценки рисков возможной актуализации образовательных программ и ресурсов с учетом заданного горизонта прогноза сохранения требований к компетенциям для выбранного регионального рынка труда. Изменения, вносимые в образовательные программы и контент, и полученные компетенции должны быть востребованы после подготовки специалистов в течение ряда лет. В противном случае нет смысла актуализации программ в выбранном направлении.

Поэтому первой проблемой актуализации является большая временная задержка между появлением новых требований к компетенциям специалистов в регионе, внесением изменений в образовательные программы и контент, выпуском подготовленных специалистов после обучения в учебном заведении. Второй проблемой является необходимость бюрократического согласования вносимых изменений с профильными министерствами и ведомствами. Третьей проблемой является приведение актуализированных программ в соответствии с требованиями федеральных профессиональных и образовательных стандартов.

Модели и методики актуализации образовательных программ и контента. Для актуализации образовательных программ разработаны: модели жизненных циклов образовательных программ и электронных образовательных ресурсов, методики управления моделями и метод синхронизации их жизненных циклов с учетом меняющихся требований стандартов и работодателей, которые определяют этапы их эволюционного преобразования в интеллектуальной образовательной среде.

Модель образовательной программы фактически задает траекторию процесса подготовки специалиста в информационно-образовательном пространстве, при прохождении которой он получает конкретные компетенции и достигает квалификационного уровня в соответствии с профессиональными и образовательными стандартами, гарантированными программой. Каждая дисциплина в образовательной программе связана с электронными образовательными ресурсами, с помощью которых специалист получает необходимые компетенции, которые должны соответствовать требованиям образовательных стандартов и работодателей, как это показано на модели, изображенной на рисунке 1.

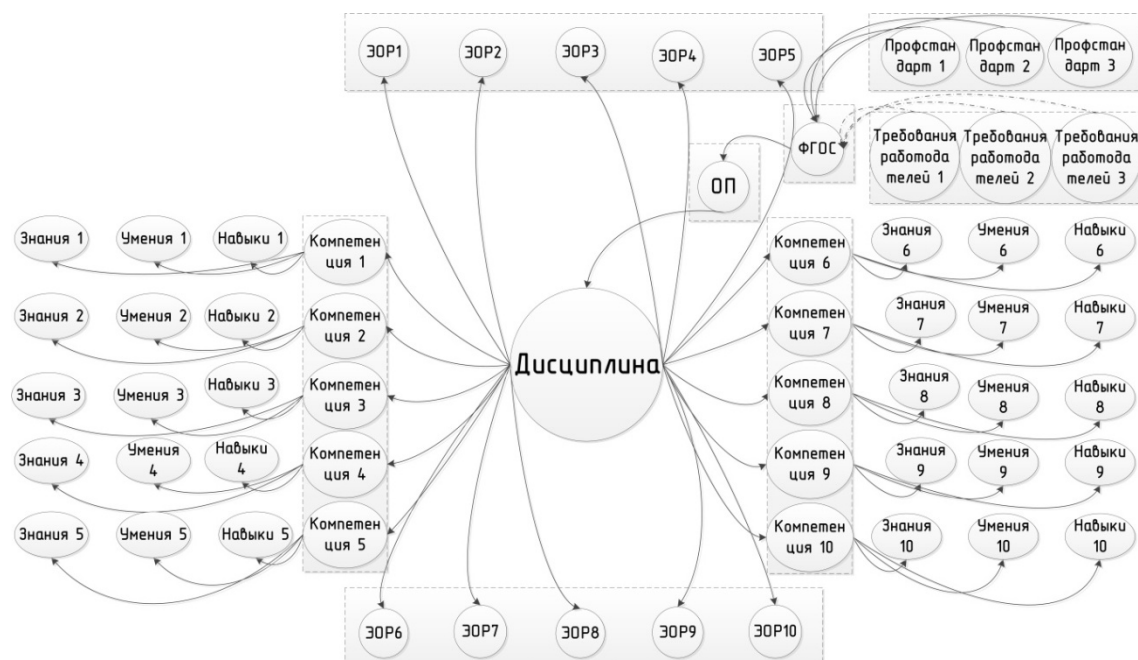


Рисунок 1 – Модель дисциплины в образовательном процессе

Типовая модель жизненного цикла образовательной программы соответствует классу итеративных моделей развития [11]. Рассмотрим модель со стадией актуализации, на которой оценивается степень конвергенции (сходимости) актуализированной программы с программами других специальностей, изображенная на рисунке 2.

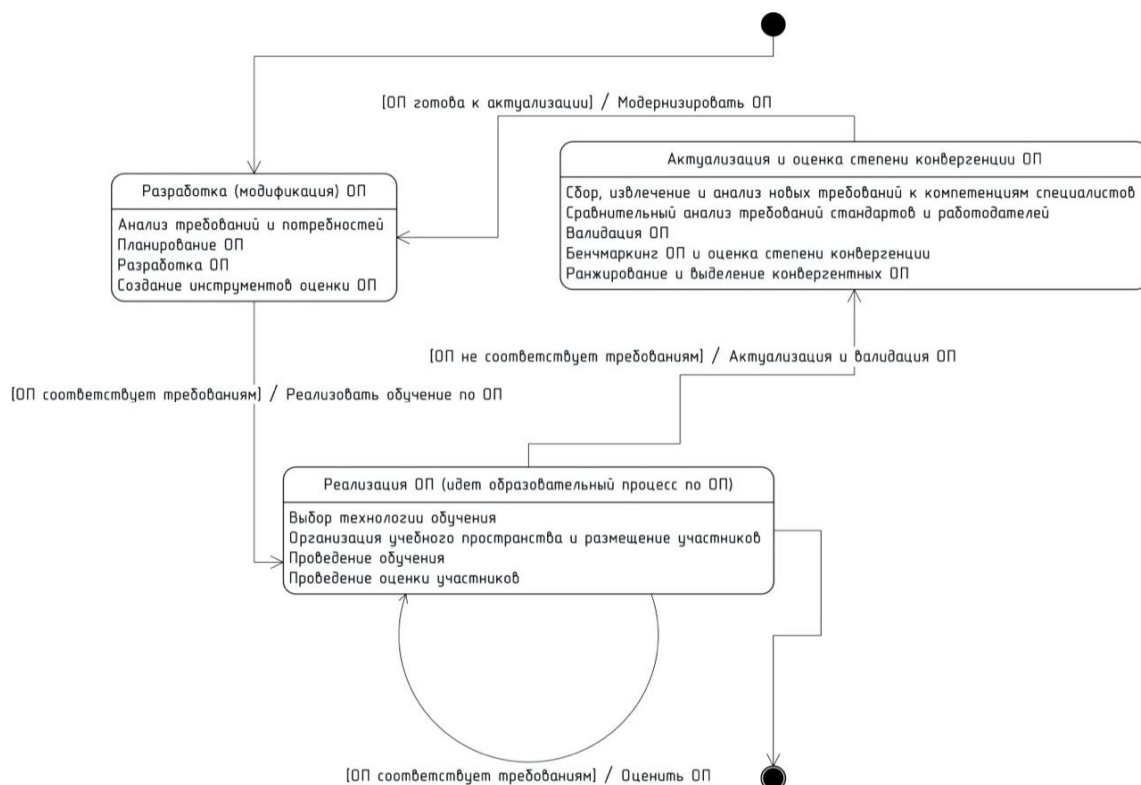


Рисунок 2 – Модель жизненного цикла образовательных программ с этапом актуализации

На этапе актуализации в рамках конвергентного подхода решаются следующие задачи:

- сбор, извлечение и анализ новых требований к компетенциям специалистов из измененных профессиональных и образовательных стандартов;
- сбор, извлечение, консолидация и анализ новых требований работодателей к компетенциям специалистов на региональных рынках труда;
- сравнительный анализ (бенчмаркинг) консолидированных требований стандартов и работодателей к специалистам из разных областей знаний и сфер деятельности и оценка степени их сходимости (сближения);
- проверка образовательных программ на соответствие новым требованиям стандартов и работодателей;
- сравнительный анализ (бенчмаркинг) программ для подготовки специалистов из разных областей знаний и сфер деятельности и оценка степени их сходимости (сближения);
- ранжирование и отбор программ по максимальной степени сходства для синтеза единых программ конвергентной подготовки специалистов для разных сфер деятельности.

Таким образом, образовательная программа в соответствии с новой моделью может находиться в трех состояниях:

1. «Создание или модернизация программы» (в соответствии с итеративной моделью развития нет разницы между созданием программы и модернизацией существующей).
2. «Реализация образовательных программ» (процесс подготовки специалистов в соответствии с программой).
3. «Актуализация и оценка степени конвергенции программ» (процесс внесения изменений в программы в соответствии с требованиями инновационной и цифровой экономики, работодателей, новыми профессиональными и образовательными стандартами и оценки степени сходимости актуализированных программ для разных отраслей и областей знаний).

Модель актуализации образовательных программ, представленная на рисунке 3, использует принцип образной связи для управления этапами ее модернизации и проверки на сходимость с другими программами.

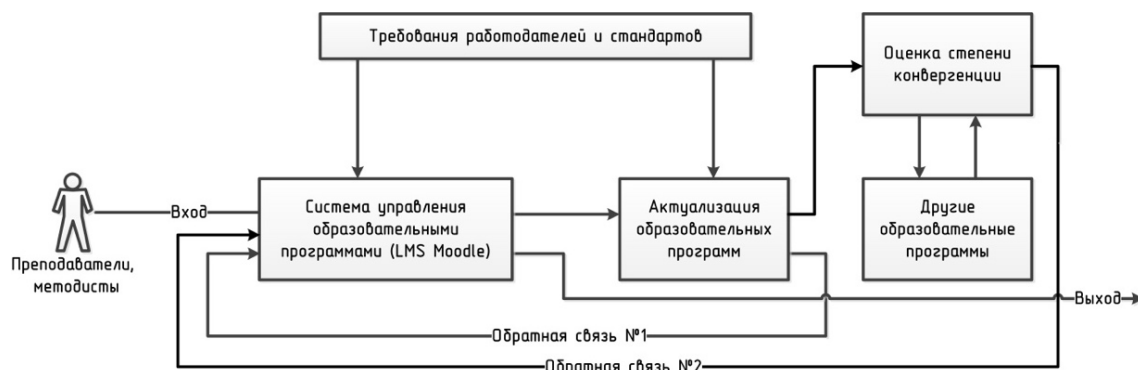


Рисунок 3 – Модель управления процессом актуализации образовательных программ

Объектом управления здесь является процесс актуализации программы, субъектом – система управления образовательных программ, например, LMS Moodle. Характерной особенностью модели является наличие двух обратных связей: одна предназначена для регулирования самого процесса актуализации, другая – для консолидации выявленных конвергентных образовательных программ и настройки конвергентного образовательного процесса [15].

В качестве факторов влияния на процесс актуализации можно отметить:

- требования профессиональных и образовательных стандартов, которые обязательны при реализации основных образовательных программ общего, среднего, профессионального и высшего образования;
- консолидированные (интегрированные) требования работодателей к компетенциям специалистов, извлеченные из открытых источников в интернете (сайты кадровых агентств, ярмарки вакансий, доски объявлений, разделы вакансий сайтов предприятий и учреждений, информация о вакансиях в мессенджерах и социальных сетях и т.п.);
- образовательные программы других учебных заведений;
- информация об инновационных и прорывных технологиях, появляющихся в ходе четвертой промышленной революции (Industry 4.0).

В качестве первой обратной связи выступают оценки соответствия компетенций, которые получают специалисты в ходе обучения по готовым программам, компетенциям, сформулированным на основе анализа требований новых стандартов и работодателей. Для поддержки процесса квалитметрии компетенций используются фонды оценочных средств, которые также необходимы для оценки эффективности актуализированных образовательных программ. Оценки влияют на принятие решений о соответствии программы новым требованиям и ее использования, необходимости модернизации или прекращения эксплуатации [2].

В качестве второй обратной связи используется информация об оценке сходимости образовательных программ, полученная в ходе их бенчмаркинг анализа. На основе оценок принимаются решения о необходимости актуализации, генерируются рекомендации по изменениям программ с учетом новых требований, оценивается возможность перехода к конвергентной модели образовательного процесса, принимаются решения для введения технологий конвергентного образования для подготовки специалистов в разных отраслях экономики.

В качестве оценки сходимости образовательных программ предлагается использовать степень изоморфизма графовых моделей. Входными данными для методики выделения изоморфных подграфов и оценки степени изоморфизма являются графовые модели, синтезированные по матрицам компетенций из образовательных программ. Выделение изоморфных подграфов компетенций позволяет определить группы схожих образовательных программ для разных специальностей и выделить их для реализации в конвергентной образовательной среде.

Актуализация образовательных программ требует модернизации образовательных ресурсов и технологий (контента). Электронные образовательные ресурсы составляют основу образовательного контента в интеллектуальной образовательной среде. Требования стандартов и работодателей тем самым будут учтены при разработке новых и модернизации старых электронных образовательных ресурсов. Таким образом, жизненный цикл образовательных программ связан с жизненным циклом образовательного контента. В процессе актуализации решаются задачи синхронизации моделей жизненных циклов образовательных программ и контента для реализации способов освоения новых компетенций согласно требованиям работодателей. Электронные образовательные ресурсы включают теоретический материал, а также множество виртуальных лабораторий

и цифровых симуляторов реальных объектов и процессов для практического освоения компетенций. Каждый ресурс может представлять Web сайт или SCORM (Sharable Content Object Reference Model) пакет, который содержит образовательный контент. Контент включает веб-страницы, рисунки, текстовые файлы, аудио- или/и видеозаписи, программы на языках Flash, JavaScript, PHP и другие элементы, которые также моделируются вершинами графа с соответствующими связями и участвуют в решении задачи анализа конвергенции с другими ресурсами.

Модель жизненного цикла образовательного контента, представленная на рисунке 4, также включает стадию актуализации, в ходе которой оценивается степень конвергенции (сходимости) актуализированного контента с контентом, соответствующим другим образовательным программам.

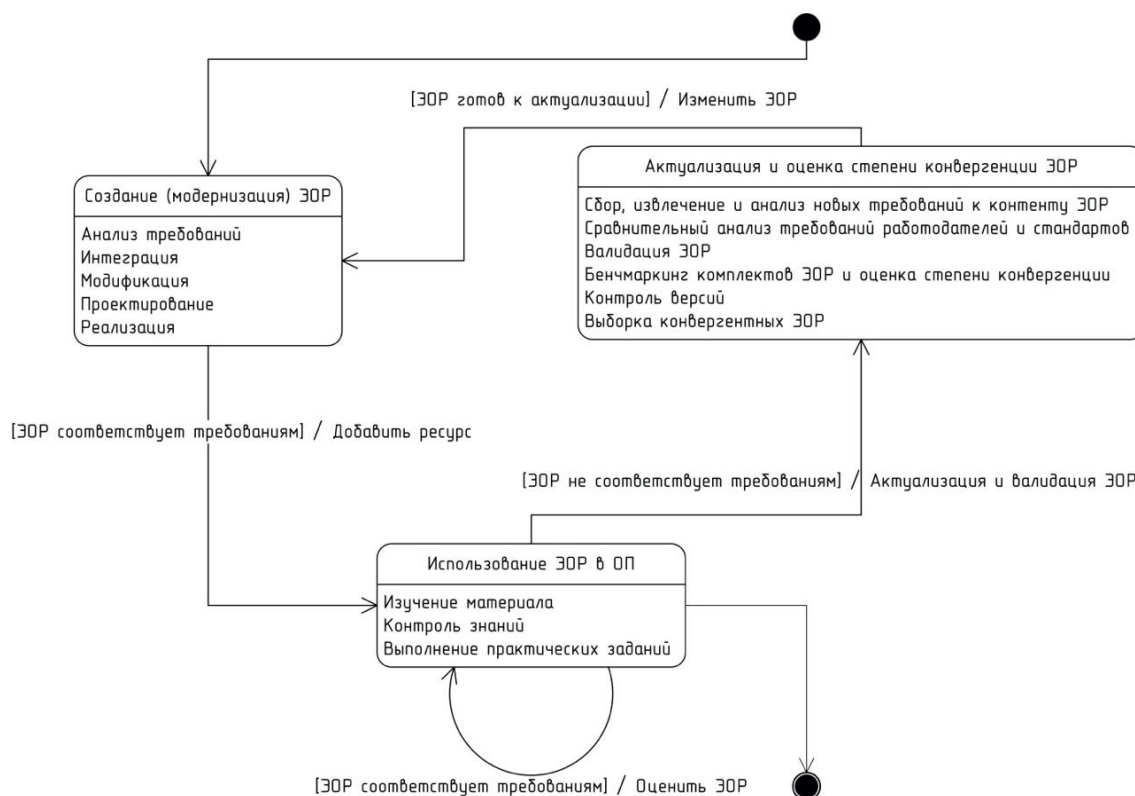


Рисунок 4 – Модель жизненного цикла образовательного контента с этапом актуализации

Модель актуализации образовательного контента, реализуемая с использованием системы управления контентом CMS Alfresco, представлена на рисунке 5.

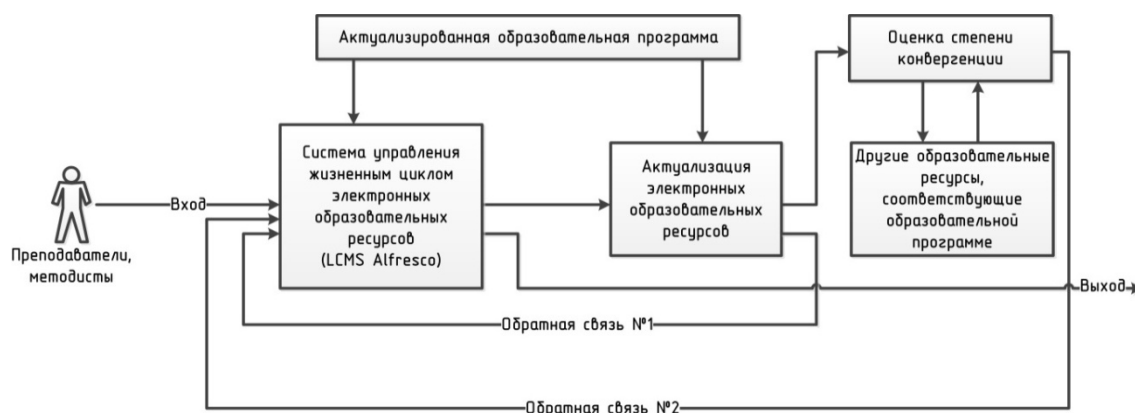


Рисунок 5 – Модель управления процессом актуализации образовательного контента

Объектом управления в модели является жизненный цикл образовательного ресурса, субъектом – система управления образовательным контентом, которая применялась для его создания. Особенностью модели также является наличие двух обратных связей: одна предназначена для оценки эффективности получения требуемых компетенций и регулирования процесса актуализации, другая – для оценки степени конвергенции выявленных образовательных ресурсов, их интеграции и использования в конвергентной модели образовательного процесса.

К внешним факторам, влияющим на процесс актуализации, следует отнести:

- информационные ресурсы и материалы открытого доступа, используемые для его обновления;
- актуализированная образовательная программа, посредством которой образовательный контент настраивается на получение новых компетенций согласно требованиям стандартов и работодателей;
- множество образовательных ресурсов с похожим содержанием, которые применяются для получения схожих или аналогичных компетенций и содержат общий (конвергентный) материал для различных дисциплин в разных предметных областях;
- дополнительные требования к образовательному контенту, которые возникают в связи с появлением и внедрением новых образовательных технологий, например, требование к созданию лекционного онлайн-курса для системы открытого и дистанционного образования;
- фонды оценочных средств для анализа степени эффективности использования образовательного контента для получения требуемых компетенций в процессе подготовки специалиста;
- технологии и методики обучения с использованием данного образовательного контента.

Выходными параметрами являются актуализированные комплекты электронных образовательных ресурсов, технологии и методики работы с ними, инструментарий управления контентом в процессе его публикации в информационно-образовательной среде, обеспечения персонализированного доступа, помощи при работе с ним, оценки полученных компетенций.

Разработанные модели актуализации применяются при построении информационной образовательной среды (Smart Learning Environment). В состав среды включены система управления контентом (CMS Alfresco), система управления разработкой образовательных программ (LAMS), система управления обучением (LMS Moodle), а также модуль сбора и мониторинга требований работодателей. Общая интеграция данных подсистем обеспечивает системный подход к генерации учебного контента, повышая его качество и уменьшая затраты при создании и модернизации. На рисунке 6 изображена общая методика использования компонентов платформы и шаги по актуализации электронных образовательных ресурсов и образовательных программ.

Методика актуализации в рамках образовательной среды включает этапы:

1. Поиск, анализ и выбор требований стандартов и работодателей к образовательным программам и электронным образовательным ресурсам.
2. Экспорт требований в CMS Alfresco и LMS Moodle.
3. Синтез электронных образовательных ресурсов в CMS Alfresco с учетом требований и информации о ранее созданных и используемых образовательных ресурсах в LMS Moodle.
4. Синтез персонализированной программы обучения согласно уровню подготовки специалиста с помощью инструментария LAMS с учетом требований образовательных стандартов и работодателей.
5. Выбор и наполнение персонализированной программы обучения для специалиста с определенным уровнем квалификации электронными образовательными ресурсами.
6. Обучение специалистов с помощью инструментария среды LMS Moodle.
7. Оценка полученных компетенций в процессе обучения согласно требованиям стандартов и работодателей и принятие решений о завершении обучения или направлении на переподготовку с коррекцией персонализированной траектории обучения.

Применение механизмов адаптации образовательного контента к быстро меняющимся условиям цифровой экономики позволяет обеспечить процесс подготовки специалистов актуальными учебными материалами и ресурсами и снизить шанс получения невостребованных или устаревших знаний, а также позволяет снизить расходы при управлении процессами генерации или модернизации контента.

Обсуждение и заключение. Эволюционный процесс развития процессов подготовки специалистов идет в направлении перехода к конвергентной модели образования. Парадигмой модели конвергентного обучения является тренд к сходимости персонализированных траекторий обучения разных специалистов в связи с конвергенцией требований профессиональных стандартов и работодателей к их компетенциям [13]. При этом информационная среда обучения становится открытой и выходит за границы аудиторий и учебных заведений. Открытая информационно-образовательная среда с интеллектуальным механизмом персонализации процесса подготовки и переподготовки специалистов является инструментом перехода к концепции конвергентного образования. Концепция конвергенции в образовании требует интеграции образовательных технологий в единой информационно-

образовательной среде с интеллектуальными механизмами мониторинга и актуализации образовательных программ и контента для адаптивной настройки на меняющиеся внешние факторы [10].

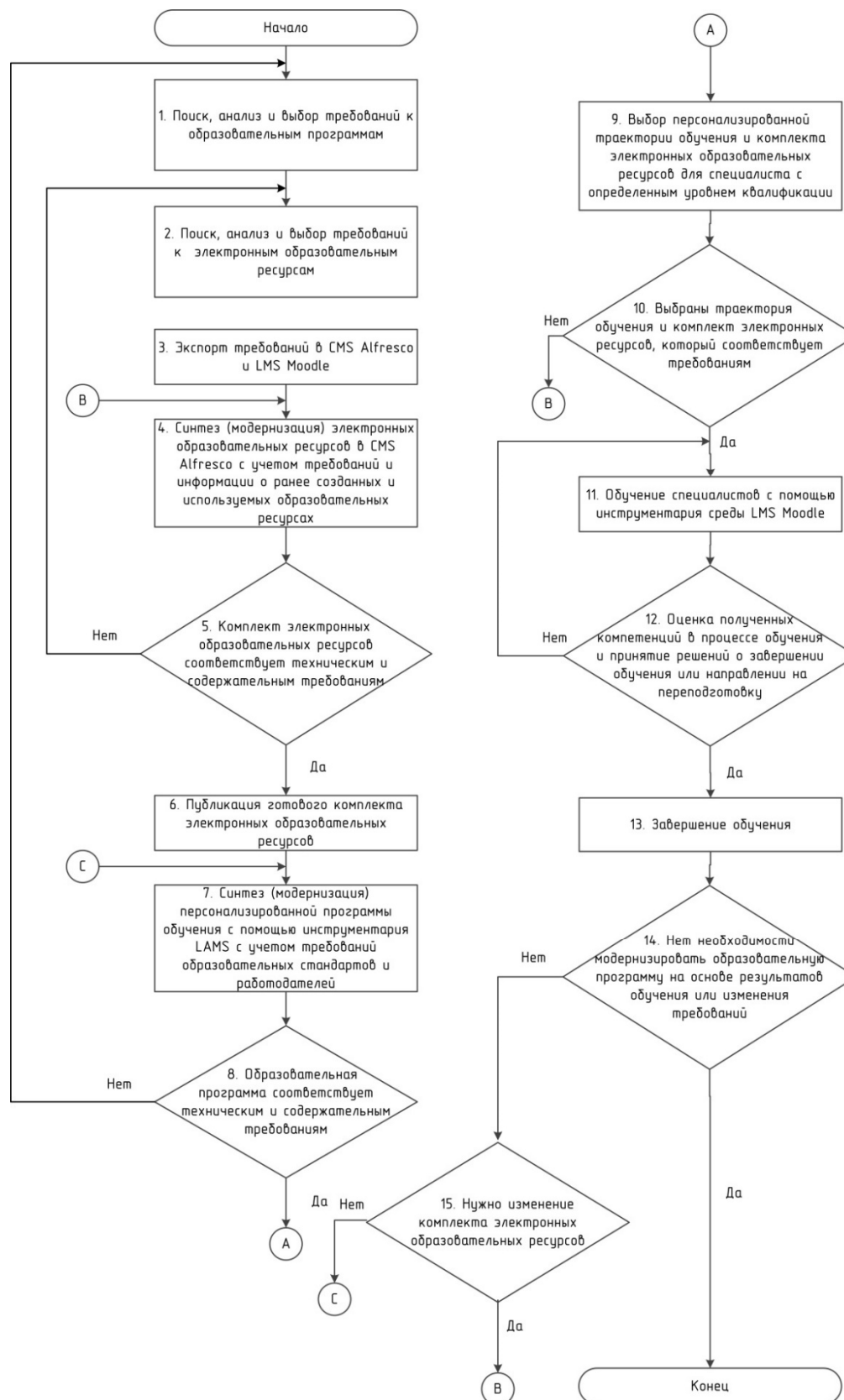


Рисунок 6 – Методика актуализации образовательных программ и контента в рамках информационной образовательной среды

Достижения в области создания механизмов управления образовательными процессами подтверждают необходимость создания и внедрения предложенного подхода [12]. В частности, в работе [14] предложена похожая система обучения, которая включает интеллектуальный и интерактивный контент с возможностью персонализации и адаптивной настройки процесса образования. Ключевые возможности интеллектуализации процесса обучения и проблемы разработки интеллектуальных образовательных сред обсуждаются в статье [8]. В научной работе [1] рассмотрены основные вопросы актуализации образовательных программ.

Предложенные модели и методики позволяют учитывать спектр внешних условий и требований к учебным программам и ресурсам и строить геотегаированные графовые модели для территориального распределения по вузам собранной из открытых источников информации. Реализация предложенных методов в рамках интеллектуальной образовательной среды позволит получить интеграционный эффект использования ряда подсистем в процессе модернизации образовательного контента, что означает снижение временных и финансовых затрат.

Проблему управления образовательными процессами в разрабатываемой интеллектуальной среде предлагается решать на основе синхронизации и актуализации образовательных программ и контента с адаптивной настройкой на меняющиеся требования образовательных стандартов и работодателей.

Новизна идеи статьи заключается в разработке моделей, методик и технологии адаптивной настройки процесса подготовки специалистов путем актуализации образовательных программ и контента с учетом требований к компетенциям со стороны работодателей в условиях перехода к инновационной экономике и цифровизации процессов жизнедеятельности человека. Методология актуализации предназначена для снижения рисков подготовки невостребованных специалистов на региональных рынках труда и позволяет анализировать дестабилизирующие факторы получения некачественного и морально устаревшего образования. Анализ исследований в данной области показал, что существует ряд проблем, связанных с получением специалистами требуемых компетенций, так как учебные заведения не успевают изменять образовательные программы и контент в условиях перехода к инновационной экономике, цифровизации и интеллектуализации всех социально-экономических процессов в обществе. Проблемы связаны с некорректной формулировкой компетенций со стороны работодателей, нехваткой квалифицированных специалистов, отсутствием возможности получения требуемых компетенций в региональных учебных заведениях, динамикой изменений требований реального сектора экономики, временной задержкой между появлением новых требований к компетенциям и внесением изменений в образовательные программы и контент, длительностью процесса подготовки специалистов по новым требованиям, необходимостью согласования изменений с требованиями профессиональных и образовательных стандартов. Актуализация образовательных программ в рамках образовательной среды выполняется на основе сбора данных в открытых источниках интернета для учета меняющихся требований работодателей в учебном процессе. Конвергентный подход к актуализации образовательных программ и контента внедряется и тестируется в информационно-образовательной среде Пензенского государственного университета. В ходе дальнейших исследований планируется обеспечить более тесную интеграцию подсистем мониторинга и анализа данных и разработки контента на основе алгоритмов синхронизации компонентов образовательной платформы.

Библиографический список

1. Емельянов А. А., Актуализация образовательных программ и планирование подготовки преподавателей / Емельянов А. А., Власова Е. А. // Высшее образование в России. – 2009. – № 1. – С. 100–111.
2. Кравец А. Г. Управление качеством электронных обучающих систем в контексте развития современного высшего профессионального образования : монография / А. Г. Кравец, П. Н. Воробкалов, А. В. Исаев, В. А. Камаев, О. А. Шабалина ; Исслед. центр проблем качества подгот. специалистов Нац. исслед. техн. ун-та «МИСиС», ВолгГТУ. – Москва ; Волгоград, 2011. – 113 с.
3. Bonk C. J. Online Teaching in an Online World. Education at a Glance / C. J. Bonk // United States Distance Learning Association (USDLA) Journal. – January 2002. – Vol. 16, № 1. – Режим доступа: <http://www.usdla.org/html/journal/article02.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
4. Chao R. Educating for the fourth industrial revolution / R. Chao // University World News. – October 2017. – Режим доступа: <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20171107123728676>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
5. Deev M. Models of Supporting Continuing Education of Specialists for High-Tech Sector / M. Deev, T. Glotova, I. Krevskiy // Knowledge-Based Software Engineering – 11th Joint Conference, JCKBSE 2014. – Volgograd, 2014. – Vol. 466. – P. 100–112.
6. Deev M. V. Life-cycle management of educational programs and resources in a smart learning environment / M. V. Deev, A. G. Finogeev, L. A. Gamidullaeva, A. M. Bershadsky, A. G. Kravets // Smart Learning Environments. – 2018. – Vol. 5. – P. 1–14.

7. Deev M. Models for Cooperation Continuing Educations of Specialist with Life Cycle of E-Learning Resources and Educational Programs / M. Deev, I. Krevskiy, T. Glotova, S. Matyukin, E. Sheremeteva // *Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems*. – IGI Global, 2016. – P. 258–285.
8. Gros B. The design of smart educational environments / B. Gros // *Smart Learning Environment*. – 2016. – Vol. 3, № 15. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s40561-016-0039-x6>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
9. Herr D. J. C. Convergence education—an international perspective / D. J. C. Herr, B. Akbar, J. Brummet // *J. Nanopart Res.* – 2019. – Vol. 21, № 229. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4638-7>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
10. Huda M. Exploring Innovative Learning Environment (ILE): Big Data Era / M. Huda, Z. Haron, M. N. Ripin, A. Hehsan, A. C. Yacob // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2017. – № 12 (17). – P. 6678–6685.
11. Hussin A. Education 4.0 made simple: Ideas for teaching / A. Hussin // *International Journal of Education & Literacy Studies*. – 2018. – № 6 (3). – P. 92–98.
12. Lister P. J. A smarter knowledge commons for smart learning / P. J. Lister // *Smart Learning Environment*. – 2018. – № 5 (8). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0056-z>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
13. National Science Foundation NSF 17-065, Dear colleague letter: growing convergence research at NSF. – 2017. – Режим доступа: www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
14. Vesin B. Learning in smart environments: user-centered design and analytics of an adaptive learning system / B. Vesin, K. Mangaroska, M. Giannakos // *Smart Learning Environment*. – 2018. – № 5 (24). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0071-0>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
15. Wallace R. M. Online learning in higher education: A review of research on interactions among teachers and students / R. M. Wallace // *Education, Communication & Information*. – 2003. – № 3. – P. 241–280.

References

1. Emelyanov A. A., Vlasova E. A. Aktualizatsiya obrazovatelnykh programm i planirovanie podgotovki преподаvateley [Updating educational programs and planning teacher training]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [High education in Russia], 2009, no. 1, pp. 100–111.
2. Kravets A. G., Vorobkalov P. N., Isaev A. V., Kamaev V. A., Shabalin O. A. *Upravlenie kachestvom elektronnykh obuchayushchikh sistem v kontekste razvitiya sovremennogo vysshego professionalnogo obrazovaniya: monografiya* [Quality management of electronic learning systems in the context of the development of modern higher professional education: monograph]. Moscow, Volgograd, 2011. 113 p.
3. Bonk C. J. Online Teaching in an Online World. Education at a Glance. *United States Distance Learning Association (USDLA) Journal*, January 2002, vol. 16, no. 1. URL: http://www.usdla.org/html/journal/JAN02_Issue/article02.html
4. Chao R. Educating for the fourth industrial revolution. *University World News*, October 2017. Available at: <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20171107123728676>
5. Deev M. V., Glotova T. V., Krevskiy I. G. Models of Supporting Continuing Education of Specialists for High-Tech Sector. *Knowledge-Based Software Engineering*, 2014, vol. 466, pp. 100–112.
6. Deev M. V., Finogeev A. G., Gamidullaeva L. A., Bershadsky A. M., Kravets A. G. Life-cycle management of educational programs and resources in a smart learning environment. *Smart Learning Environments*, 2018, vol. 5, pp. 1–14.
7. Deev M., Krevskiy I., Glotova T., Matyukin S., Sheremeteva E. Models for Cooperation Continuing Educations of Specialist with Life Cycle of E-Learning Resources and Educational Programs. *Handbook of Research on Estimation and Control Techniques in E-Learning Systems*. IGI Global, 2016, pp. 258–285.
8. Gros B. The design of smart educational environments. *Smart Learning Environment*, 2016, vol. 3, no. 15. Available at: <https://doi.org/10.1186/s40561-016-0039-x6>
9. Herr D. J. C., Akbar B., Brummet J. et al. Convergence education – an international perspective. *J. Nanopart Res.*, 2019, vol. 21, no. 229. URL: <https://doi.org/10.1007/s11051-019-4638-7>
10. Huda M.; Haron Z.; Ripin M. N.; Hehsan A., Yacob A. C. Exploring Innovative Learning Environment (ILE): Big Data Era. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, no. 12 (17), pp. 6678–6685.
11. Hussin A. Education 4.0 made simple: Ideas for teaching. *International Journal of Education & Literacy Studies*, 2018, no. 6 (3), pp. 92–98.
12. Lister P. J. A smarter knowledge commons for smart learning. *Smart Learning Environment*, 2018, no. 5 (8). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0056-z>
13. National Science Foundation NSF 17-065, Dear colleague letter: growing convergence research at NSF, 2017. Available at: www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf
14. Vesin B., Mangaroska K., Giannakos M. Learning in smart environments: user-centered design and analytics of an adaptive learning system. *Smart Learning Environment*, 2018, no. 5 (24). Available at: <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0071-0>
15. Wallace R. M. Online learning in higher education: A review of research on interactions among teachers and students. *Education, Communication & Information*, 2003, no. 3, pp. 241–280.

УДК 004.932

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УТОЧНЕНИЯ ГРАНИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

Статья поступила в редакцию 01.07.2020, в окончательном варианте – 20.09.2020.

Ляшева Стелла Альбертовна, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,

кандидат технических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2199-3924>, РИНЦ AuthorID 701461, e-mail: salyasheva@kai.ru

Шлеймович Михаил Петрович, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3021-5139>, РИНЦ AuthorID 700796, e-mail: mpshleymovich@kai.ru

В настоящее время активно развивается концепция «умный город», которая определяет задачи оптимального распределения ресурсов и обеспечения безопасности городской инфраструктуры, в том числе безопасности дорожного движения. Это особенно актуально в связи с ростом количества транспортных средств, среди которых прогнозируется появление беспилотных автомобилей. Решение указанной задачи основано на привлечении различных технологий, в том числе технологий компьютерного зрения. Одно из направлений здесь основано на машинном обучении, в рамках которого рассматриваются модели объектов на изображениях в виде векторов признаков. Такие модели представляют собой описания объектов для обучения классификаторов, обеспечивающих их обнаружение и распознавание. В качестве признаков часто используются признаки границ. Их формирование сводится к выполнению двух шагов – выделение границ и их описание в виде дескрипторов. В данной работе описан метод выделения границ объектов на изображениях дорожной обстановки, который базируется на применении кратно-масштабного вейвлет-преобразования. Предлагаемый метод основан на определении значимости величины изменения яркости в некоторой точке на определенном уровне вейвлет-разложения на основе оценки вклада в общую энергию изображения соответствующих этой точке детализирующих коэффициентов. Метод определяет последовательное уточнение границ, которое делается в предположении соответствия граничных точек на разных уровнях. Данное предположение обуславливается тем, что значения яркостей пикселей копий изображения на разных уровнях кратно-масштабного разложения взаимосвязаны друг с другом. Описанный метод прост для реализации, обладает сравнительно высоким быстродействием и возможностью гибкой настройки для реальных условий работы. Как следствие, он может быть использован в системах анализа видеопотоков, работающих в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: интеллектуальные системы беспилотных транспортных средств, компьютерное зрение, обнаружение и распознавание объектов на изображениях, признаки границ объектов, выделение границ на изображениях, вейвлет-преобразование, энергия изображения, уточнение границ

METHOD OF BOUNDARIES SEQUENTIAL REFINING IN THE IMAGES OF TRAFFIC CONDITIONS

The article was received by the editorial board on 01.07.2020, in the final version – 20.07.2020.

Lyasheva Stella A., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2199-3924>, RISC AuthorID 701461, e-mail: salyasheva@kai.ru

Shleymovich Mikhail P., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation,

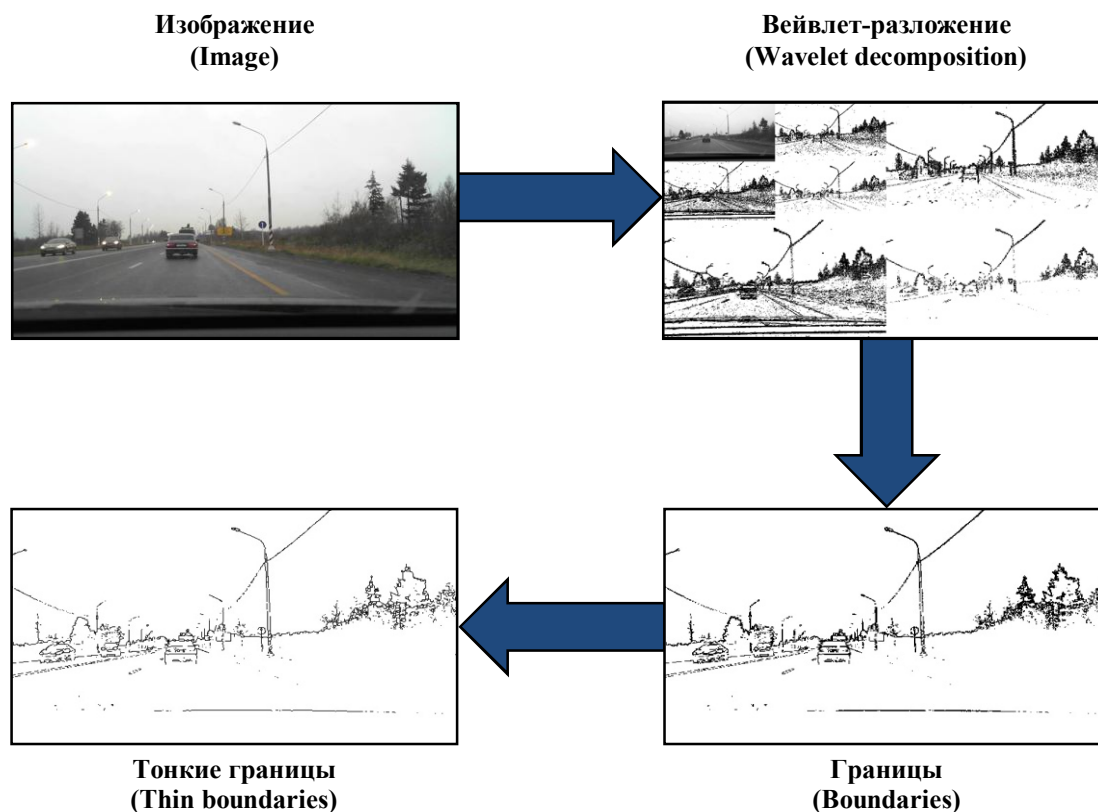
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department for Automated Systems for Information Processing and Control, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3021-5139>, RISC AuthorID 700796, e-mail: mpshleymovich@kai.ru

Currently, the concept of "smart city" is being actively developed, which defines the tasks of optimal resource allocation and ensuring the safety of urban infrastructure, including road safety. This is especially true in connection with the growing number of vehicles, among which the appearance of self-driving cars is predicted. The solution to this problem is based on the use of various technologies, including computer vision technologies. One of the directions here is based on machine learning, in which models of objects in images are considered as feature vectors. Such

models are descriptions of objects for training classifiers that ensure their detection and recognition. Boundary features are often used as attributes, which are formed by performing two steps: selecting boundaries and describing them as descriptors. This paper describes a method for selecting the boundaries of objects in images of traffic conditions, which is based on the use of multiple-scale wavelet transform. The method is based on determining the significance of the brightness change at a certain point at a certain level of the wavelet decomposition based on the estimation of the contribution to the total image energy of the corresponding detail coefficients. The method defines a sequential refinement of boundaries, which is done under the assumption that the boundary points match at different levels. This assumption is based on the fact that the brightness values of pixels of image copies at different levels of multiple-scale decomposition are interrelated with each other. The described method is simple to implement, has a relatively high speed and can be flexibly configured for different operating conditions.

Keywords: self-driving cars intelligent systems, computer vision, detection and recognition of objects in images, object boundary features, boundaries detection on images, wavelet transform, image energy, boundary thinning

Графическая аннотация (Graphical annotation)



Введение. В настоящее время активно развиваются научно-технические направления, связанные с реализацией концепции «умный город». Цель данной концепции заключается в повышении эффективности и безопасности работы всех городских (в широком смысле слова) служб. В зависимости от целей городского планирования «умный город» можно определить как «цифровой город», «город знаний», «кибергород» или «экогород». Умные города ведут постоянный мониторинг важнейших объектов инфраструктуры – автомобильных дорог, мостов, туннелей, железных дорог, метро, аэропортов, систем связи и др. в целях оптимального распределения ресурсов и обеспечения безопасности [6].

Одной из задач умного города является организация транспортных потоков. При этом весьма остро стоит проблема обеспечения безопасности участников дорожного движения. Указанная задача усложняется тем, что, согласно имеющимся прогнозам, через несколько лет предполагается появление на дорогах миллионов беспилотных транспортных средств [4]. При этом возможность выделения для них отдельных «полос движения» в большинстве существующих городов фактически отсутствует.

Обеспечить безопасность дорожного движения, участником которого является беспилотное транспортное средство, невозможно без интеллектуализации бортовых автомобильных систем. При этом необходимо, чтобы решения в таких системах, принимаемые в процессе управления, были по скорости и точности, по крайней мере, не хуже решений человека-водителя. Для достижения этого при проектировании интеллектуальных систем беспилотных транспортных средств применяются

различные технологии, в том числе технологии компьютерного зрения, геоинформационные технологии, вычислительные технологии, технологии машинного обучения, технологии передачи и хранения больших объемов данных, технологии обеспечения помехозащищенности и др. [1, 2, 11, 13].

Таким образом, актуальны работы, направленные на создание новых эффективных методов в области интеллектуальных технологий для беспилотных транспортных средств, в том числе методов обработки и анализа изображений. Представление одного из таких методов является целью данной статьи.

Обнаружение и описание границ объектов на изображениях. Одним из ключевых компонентов интеллектуальной системы беспилотного транспортного средства является подсистема компьютерного зрения. Как правило, она включает в себя средства обработки информации, поступающей с видеокamer, радаров, лидаров и других источников информации [12].

Обработка изображений от видеокamer позволяет обеспечить обнаружение препятствий в режиме реального времени для облегчения смены полос движения и получения необходимой информации, связанной с использованием проезжей части дороги (например, дорожных знаков).

Создание эффективных средств обработки изображений в интеллектуальных системах беспилотных автомобилей требует решения фундаментальных проблем, связанных с разработкой моделей и методов обнаружения и распознавания объектов и ситуаций в реальном времени.

Одно из таких направлений основано на методах машинного обучения. В его рамках рассматриваются модели объектов на изображениях, представляемых в виде векторов признаков, и классификаторы, которые обучаются распознавать объекты, соответствующие этим моделям. Наиболее часто модели объектов на изображениях базируются на признаках цвета, текстуры и формы [9, 14, 17, 22, 23, 28].

К часто используемым признакам формы относятся признаки границ объектов [21]. Дискретная граница области может быть сколь угодно точно приближена ломаной линией за счет уменьшения размеров ее участков. На практике цель аппроксимации ломаной линией состоит в том, чтобы с помощью как можно меньшего числа отрезков получить наиболее существенную информацию о границе. Несмотря на то, что в общем случае решение данной задачи является трудоемким, имеется несколько методов с приемлемой вычислительной сложностью, например, методы слияния и разбиения. Описание границ объектов может быть представлено, в частности, в виде последовательности одноточечных отрезков, т.е. в виде последовательности отдельных точек. После получения описания границ объектов в виде последовательности отрезков ломаной линии или отдельных точек формируются вектора их признаков. Например, часто применяются цепные коды, с помощью которых можно представить границу в виде последовательности соединенных отрезков с указанием их длин и направлений. Описать границу области можно также с помощью некоторой одномерной функции. В этом случае говорят об описании области с помощью сигнатуры. Например, один из простейших способов в этом случае состоит в построении зависимости расстояния от центра тяжести некоторого объекта до границы области в виде функции угла. Основная идея применения сигнатур заключается в том, чтобы свести представление границы к одномерной функции, которую возможно будет легче описать, чем исходную двумерную границу. Еще один подход основан на применении преобразования Фурье, с помощью которого строятся фурье-дескрипторы границы.

Таким образом, формирование признаков для классификаторов в данном случае сводится к выполнению двух шагов. На первом шаге осуществляется обнаружение границ, а на втором – их описание в виде набора некоторых значений из определенного множества (дескрипторов). Эффективность решения задач обнаружения и распознавания объектов на изображениях с помощью классификаторов с признаками границы в равной мере зависит от эффективности методов, применяемых как для первого, так и второго шагов.

В данной статье описан метод последовательного уточнения границ объектов на изображениях дорожной обстановки. Он ориентирован, прежде всего, на применение в интеллектуальных системах беспилотных транспортных средств и базируется на кратно-масштабном вейвлет-преобразовании (КМВП).

Характеристика метода. В основе предлагаемого подхода лежит идея многомасштабной обработки изображений для определения точек границ. Многомасштабные методы базируются на теории масштабных пространств, которая разрабатывается с 1960-х годов и базируется на результатах исследований физических процессов и биологического зрения.

В рамках теории масштабных пространств учитываются особенности многомасштабного восприятия объектов реального мира, которые представляются по-разному в зависимости от масштаба рассмотрения. Поскольку заранее неизвестно на каких масштабах следует рассматривать объекты сцены на изображениях, то естественным является подход одновременного рассмотрения представлений сцены сразу на всех масштабных уровнях [16].

Частным случаем применения теории масштабных пространств является построение специальной структуры представления изображений – пирамиды изображений [7, 15]. Разработанная первоначально для применения в задачах машинного зрения и сжатия изображений, эта структура представляет собой набор изображений в уменьшающемся масштабе, организованный в форме пирамиды. Основу пирамиды составляет подлежащее обработке изображение высокого разрешения, а вершина пирамиды состоит из копии исходного изображения низкого разрешения. По мере движения вверх по пирамиде размеры и разрешение (масштаб) уменьшаются. Нижний уровень J имеет размеры $2^J \times 2^J$ или $N \times N$, где $J = \log_2 N$, а верхний уровень «0» имеет размеры 1×1 . Промежуточный уровень j имеет размеры $2^j \times 2^j$ ($0 \leq j \leq J$). Часто пирамида усекается до $K + 1$ уровней, где j меняется от $J - K$ до J ($1 \leq K \leq J$). Данная пирамида называется пирамидой приближения.

Развитие методов обработки изображений с использованием пирамид приближения в сочетании с субполосным кодированием и преобразованием Хаара привело к созданию теории вейвлет-анализа изображений и методов их обработки на ее основе [3].

Достоинствами методов на основе вейвлет-анализа с точки зрения обработки изображений являются следующие:

1. Локализация пространственных и частотных характерных особенностей изображений.
2. Быстрые алгоритмы для дискретных кратно-масштабных преобразований.
3. Инвариантность к сдвигу для непрерывных преобразований.
4. Инвариантность к повороту для комплексных преобразований.

Для обработки изображений часто применяются методы, базирующиеся на КМВП [20, 24]. Их достоинством является, как уже было сказано выше, наличие быстрых вычислительных алгоритмов. При КМВП изображение представляется в наборах аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов. Причем относительно большие по абсолютному значению детализирующие коэффициенты соответствуют пикселям изображения, в которых наблюдаются значительные изменения яркости по сравнению с пикселями-соседями. Данная особенность иллюстрируется на рисунке 1, где слева показано одно из стандартных полутоновых изображений размера 256×256 пикселей из коллекции USC-SIPI [25], в центре – результат двухуровневого КМВП, справа – результат трехуровневого КМВП. Аппроксимирующие коэффициенты на рисунке 1 показаны в виде пикселей копии изображения малых размеров, а детализирующие коэффициенты – в виде градаций серого (более темные точки соответствуют большим по абсолютному значению коэффициентам).

При выполнении КМВП на уровне j формируются матрица аппроксимирующих коэффициентов LL_j и матрицы горизонтальных, вертикальных и диагональных детализирующих коэффициентов LH_j , HL_j , HH_j . При переходе к следующему уровню $j - 1$ из матрицы LL_j формируются соответственно матрицы LL_{j-1} , LH_{j-1} , HL_{j-1} и HH_{j-1} . Аналогичным образом можно продолжить разложение до заданного уровня j_0 . Само исходное изображение представляет собой LL_J – матрицу аппроксимирующих коэффициентов уровня $J = \log_2 N$, где N – кратный двум размер изображения. На основе анализа детализирующих коэффициентов всех уровней можно построить процедуру обнаружения границ объектов на изображении.



Рисунок 1 – Кратно-масштабное вейвлет-преобразование изображения. Слева – исходное изображение. В центре – двухуровневое кратно-масштабное вейвлет-разложение. Справа – трехуровневое кратно-масштабное вейвлет-разложение

Согласно модели человеческого зрения при рассмотрении изображений внимание концентрируется только на некоторых областях, характеризующихся определенными особенностями. В качестве одной из таких особенностей может выступать величина изменения яркости, наблюдаемая в некоторых точках области. А границы объектов на изображении как раз и отражают положение точек, в которых наблюдаются существенные изменения яркости.

Величину изменения яркости в некоторой точке с координатами (x_j, y_j) на уровне вейвлет-разложения j можно охарактеризовать с помощью детализирующих коэффициентов $LH_j(x_j, y_j)$, $HL_j(x_j, y_j)$ и $HH_j(x_j, y_j)$, соответствующих этой точке. При этом справедливо равенство, согласно которому энергия изображения может быть вычислена с помощью значений коэффициентов [18, 19]. В общую энергию изображения аппроксимирующие коэффициенты вносят вклад, связанный со средней яркостью в точке, а детализирующие коэффициенты – с изменениями этой яркости. Таким образом, значимость величины изменения в некоторой точке на определенном уровне можно оценить по вкладу в энергию изображения соответствующих детализирующих коэффициентов:

$$E_j(x_j, y_j) = LH_j^2(x_j, y_j) + HL_j^2(x_j, y_j) + HH_j^2(x_j, y_j). \quad (1)$$

Значения яркости копий (аппроксимирующие коэффициенты) исходного изображения, получаемые в процессе преобразования, взаимосвязаны друг с другом:

$$LH_j(x_j, y_j) \sim LH_{j-1}(x_j / 2, y_j / 2) \sim LH_{j-2}(x_j / 4, y_j / 4). \quad (2)$$

С учетом этой взаимосвязи можно предположить, что граничные точки на одном уровне должны соответствовать граничным точкам на другом уровне. Данное предположение позволяет определить следующий алгоритм последовательного уточнения границ объектов на изображении:

1. Преобразовать изображение в полутоновую форму.
2. Определить $J = \log_2 N$, где N – размер изображения.
3. Задать уровень j_0 ($j_0 < J$).
4. Выполнить вейвлет-преобразование изображения до уровня j_0 .
5. На каждом уровне j ($j_0 \leq j < J$) вейвлет-разложения вычислить оценки энергии $E_j(x_j, y_j)$ для каждой точки (x_j, y_j) соответствующей копии изображения.
6. Для каждого уровня j ($j_0 \leq j < J$) задать пороговое значение T_j .
7. Для каждого уровня j ($j_0 \leq j < J$) сформировать бинарное изображение с двумя значениями яркости B_0 для фоновых пикселей и B_1 для граничных пикселей с помощью порогового преобразования:

$$B_j(x_j, y_j) = \begin{cases} B_0, & E_j(x_j, y_j) < T_j, \\ B_1, & E_j(x_j, y_j) \geq T_j; \end{cases} \quad (3)$$

8. Последовательно на уровнях $j = j_0 + 1, \dots, J - 1$ выполнить уточнение граничных точек с помощью решающего правила:

$$B'_j(x_j, y_j) = \begin{cases} B_0, & B_j(x_j, y_j) = B_0 \vee \\ & \vee B_j(x_j, y_j) = B_1 \wedge \\ & \wedge B_{j-1}(x_j / 2, y_j / 2) = B_0, \\ B_1, & B_j(x_j, y_j) = B_1 \wedge \\ & \wedge B_{j-1}(x_j / 2, y_j / 2) = B_1. \end{cases} \quad (4)$$

Результатом выполнения алгоритма является изображение размера $(N / 2) \times (N / 2)$, где N – размер исходного изображения, на котором показаны границы объектов. При необходимости можно увеличить результирующее изображение до размеров исходного изображения с последующим уточнением границ, например, с помощью алгоритма скелетизации Зонга-Суня [5, 8, 27].

Уточнение границ с помощью алгоритма Зонга – Суня. При описании алгоритма Зонга – Суня предполагается, что пиксели переднего плана (т.е. пиксели графического представления объектов) являются черными, а пиксели заднего плана – белыми. При выполнении алгоритма осуществляется сканирование изображения и для каждого черного пикселя анализируется его восьмисвязная окрестность, т.е. пиксели-соседи. Пикселям окрестности ставятся в соответствие бинарные переменные P_i , $i = 0, \dots, 7$, показанные на рисунке 2. На нем переменная P_0 соответствует черному пикселю, для которого рассматривается окрестность. Бинарная переменная P_i равна «0» для белого пикселя и равна «1» для черного пикселя.

Алгоритм Зонга – Суня состоит в том, что делаются два прохода по черным пикселям изображения. В результате выполнения первого прохода удаляются «лишние» черные «юго-восточные» граничные пиксели и «северо-западные» угловые пиксели. При втором проходе будут удалены «лишние» черные «северо-западные» граничные пиксели и «юго-восточные» угловые пиксели. Проходы выполняются до тех пор, пока имеются черные пиксели, удовлетворяющие условиям для них, описываемым ниже.

P_3	P_2	P_1
P_4	P_0	P_8
P_5	P_6	P_7

Рисунок 2 – Восьмисвязная окрестность пикселя при выполнении алгоритма Зонга – Суня

Проход 1. Черный пиксель удаляется из изображения (т.е. помечается как белый) при выполнении следующих условий:

- 1) $2 \leq B(P_0) \leq 6$, где $B(P_0) = \sum_{i=1}^8 P_i$;
- 2) $A(P_0) = 1$, где $A(P_0)$ – количество переходов от белого пикселя к черному при циклическом обходе соседей в порядке $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_1$;
- 3) $P_2 \times P_4 \times P_6 = 0$;
- 4) $P_4 \times P_6 \times P_8 = 0$.

Проход 2. Черный пиксель удаляется из изображения (т.е. помечается как белый) при выполнении следующих условий:

- 1) $2 \leq B(P_0) \leq 6$, где $B(P_0) = \sum_{i=1}^8 P_i$;
- 2) $A(P_0) = 1$, где $A(P_0)$ – количество переходов от белого пикселя к черному при циклическом обходе соседей в порядке $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_1$;
- 3) $P_2 \times P_4 \times P_8 = 0$;
- 4) $P_2 \times P_6 \times P_8 = 0$.

При асимптотически оптимальной реализации быстродействие алгоритма скелетизации Зонга-Суня линейно зависит от количества пикселей исходного изображения.

Применение метода к изображениям дорожной обстановки. На рисунке 3 приведено изображение дорожной обстановки размерами 1288×964 пикселей из коллекции WPI Lane Keeping Dataset [26]. Для этого изображения на рисунке 4 показаны результаты применения метода последовательного уточнения границ без использования операции утончения (слева) и с использованием данной операции (справа). При этом использовалось различное число уровней преобразования КМВП (изображения сверху были получены при разложении на два уровня, изображения посередине – на три уровня, изображения снизу – на четыре уровня) и с одинаковыми пороговыми значениями на каждом уровне.

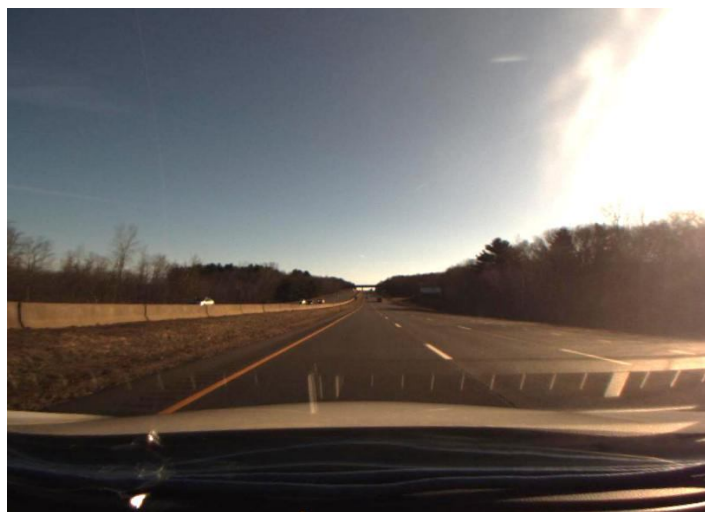


Рисунок 3 – Пример изображения дорожной обстановки

Изображения на рисунке 4 отличаются количеством точек, помеченных как граничные. В зависимости от числа уровней и пороговых значений можно получить результаты, удовлетворяющие различным условиям, например, минимальному числу «лишних» точек либо максимальному числу связанных граничных точек.

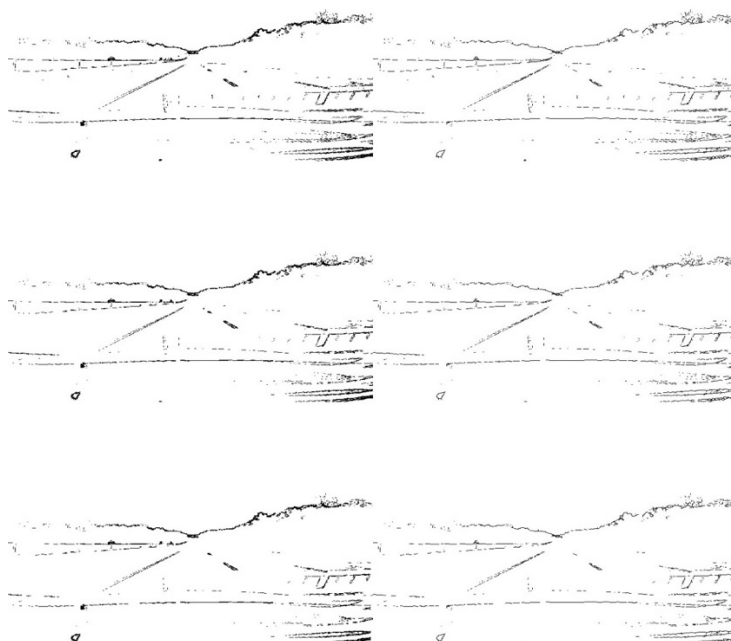


Рисунок 4 – Примеры выделения границ на изображении дорожной обстановки

На рисунке 4 слева – выделение границ без применения операции утончения. Справа – выделение границ с применением операции утончения. Сверху – с использованием разложения на два уровня. Посередине – с использованием разложения на три уровня. Снизу – с использованием разложения на четыре уровня.

Как уже было сказано, размер результирующего изображения составляет половину от размера исходного изображения. С точки зрения решения задач обнаружения и распознавания объектов на изображениях это не является слишком большим недостатком, поскольку, как правило, методы описания границ в виде набора признаков инвариантны к масштабу.

При анализе изображений дорожной обстановки в интеллектуальных системах беспилотных транспортных средств методы выделения границ играют достаточно важную роль. Это связано с тем, что изображения здесь содержат большое количество объектов, характеризующихся линейными границами. К таким объектам можно отнести элементы дорожной разметки, обочины, дорожные знаки, границы регистрационных знаков на автомобилях и др. Примеры изображений дорожной обстановки из Российской базы автодорожных знаков RSTD [10] и результаты применения к ним описанного алгоритма показаны на рисунках 5 и 6.

На рисунке 5 справа приведены цветные изображения реальных дорожных сцен размера 1280×720 пикселей, полученные в процессе движения транспортного средства, а слева – соответствующие им бинарные изображения с «толстыми» границами объектов, полученными без применения операции утончения. На рисунке 6 справа также приведены изображения дорожных сцен, а слева – соответствующие им бинарные изображения с «тонкими» границами объектов, полученными с применением операции утончения.

Следует отметить, что полученные бинарные изображения, приведенные на рисунках 5 и 6, содержат наиболее существенную информацию о границах объектов дорожной обстановки. Именно ее можно использовать в дальнейшем для извлечения данных при решении задач поддержки принятия решений, например, для обеспечения движения по заданной полосе или обнаружения пешеходного перехода.

В случае реализации процедур анализа изображений в интеллектуальных системах беспилотных транспортных средств большое значение имеет скорость обработки, поскольку они должны выполняться в реальном времени в процессе движения.

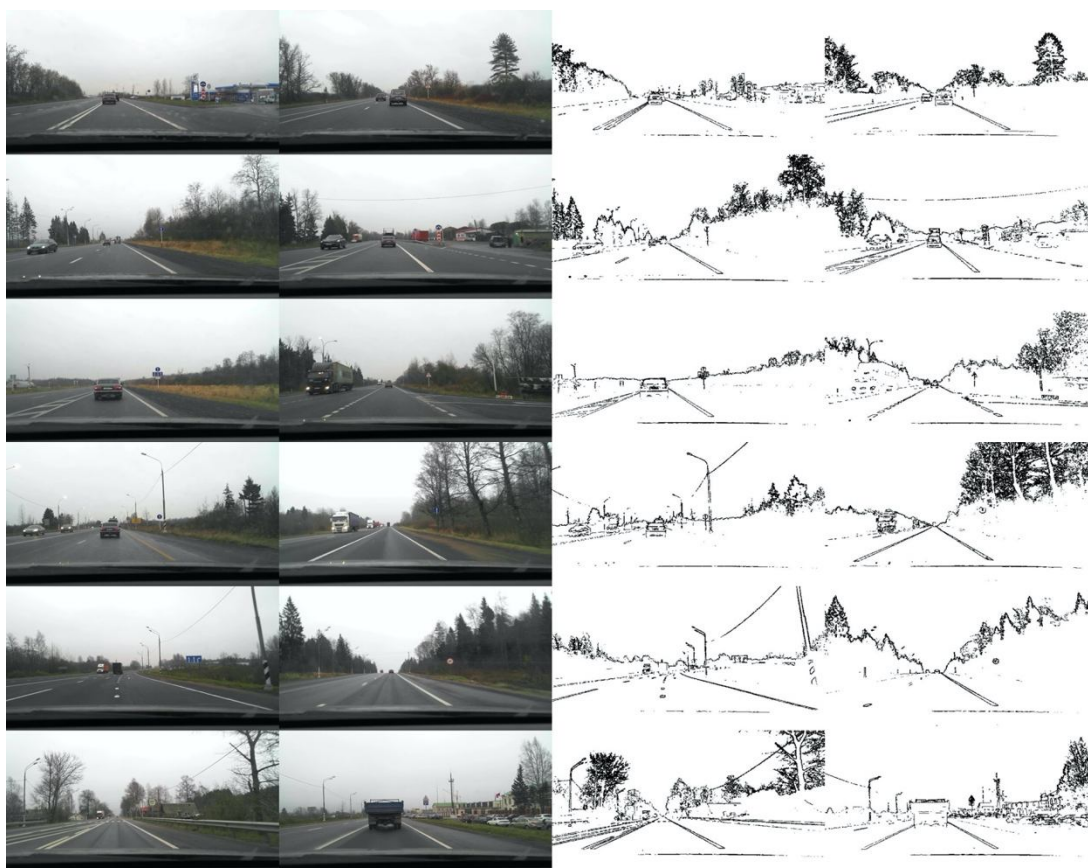


Рисунок 5 – Примеры выделения границ без применения операции утончения на изображениях дорожной обстановки. Слева – изображения дорожной обстановки. Справа – результирующие изображения границ объектов дорожной обстановки

Программная реализация метода. Программная реализация для проведения экспериментов была выполнена на языке C++ в системе программирования Microsoft Visual Studio 2017 с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV 3.4.9. Эксперименты были проведены на персональном компьютере, использующем четырехядерный процессор Intel® Core(TM) i5-8300H CPU@2.30 GHz и оперативную память 8 Гб. Компьютер работал под управлением операционной системы Microsoft Windows 10.

Время выделения границ программной реализацией предложенного метода без применения операции утончения для изображений дорожной обстановки (рис. 5) с использованием четырех-, трех- и двухуровневого вейвлет-преобразования показано в таблице 1, где I – порядковый номер изображения (номера 1 и 2 соответствуют изображениям в первом ряду слева направо, 3 и 4 – изображениям во втором ряду слева направо и т.д.), t – время, n – число уровней разложения. Время выделения границ для программной реализации предложенного метода с применением операции утончения применительно к изображениям дорожной обстановки (рис. 6) показано в таблице 2 (с теми же параметрами, что и для таблицы 1).

Как видно из таблицы 1, время работы программной реализации описанного метода без использования операции утончения представляет собой практически постоянную величину. Она примерно равна 0,01 с и не зависит от числа уровней разложения при вейвлет-преобразовании. Для сравнения: детектор Кэнни дает изображения границ более высокого качества, но работает примерно в 4 раза дольше.

Время работы программной реализации описанного метода с использованием операции утончения составляет примерно 0,04 с – это сопоставимо со временем работы детектора Кэнни.

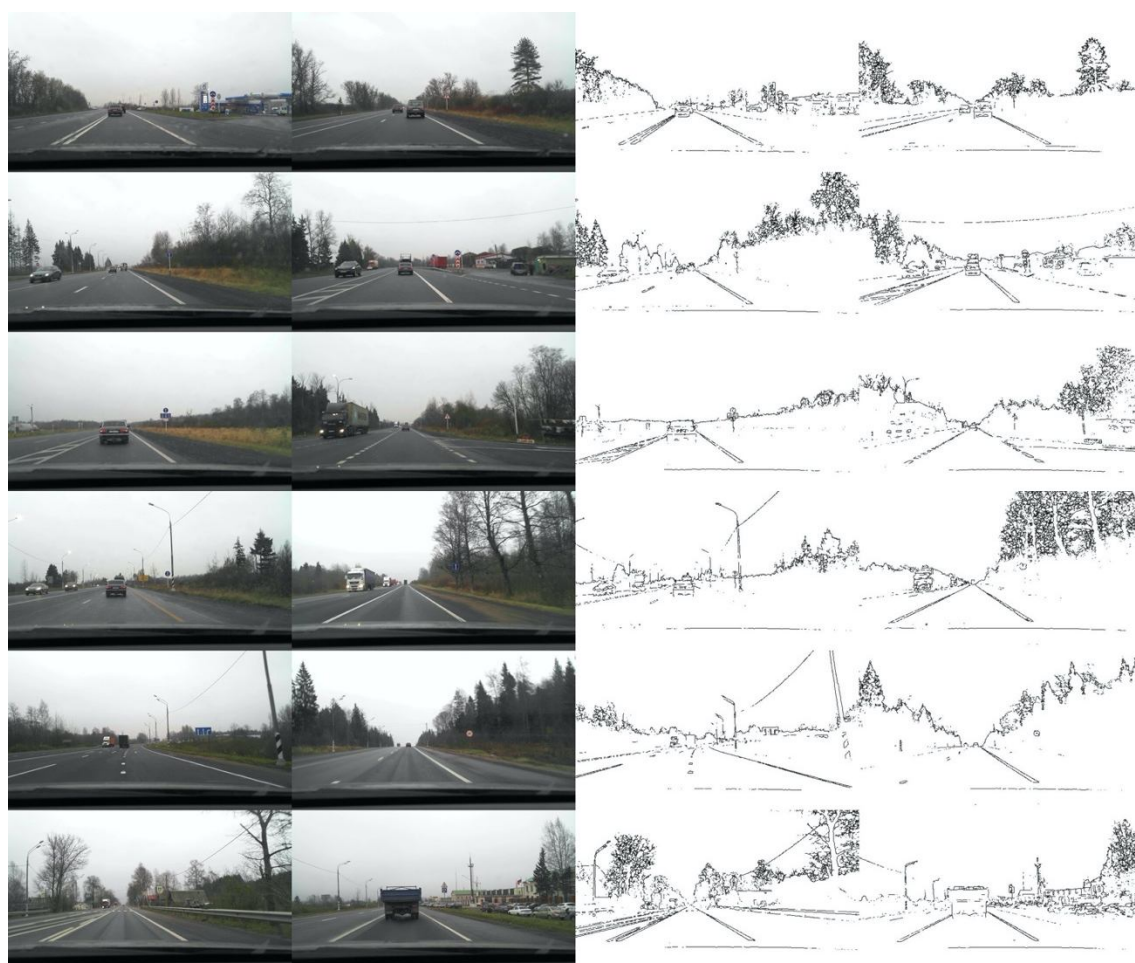


Рисунок 6 – Примеры выделения границ с применением операции утончения на изображениях дорожной обстановки. Слева – изображения дорожной обстановки. Справа – результирующие изображения границ объектов дорожной обстановки

Таблица 1 – Время выделения границ без применения операции утончения

I	t, c			I	t, c		
	$n = 4$	$n = 3$	$n = 2$		$n = 4$	$n = 3$	$n = 2$
1	0,011	0,011	0,012	7	0,013	0,012	0,012
2	0,011	0,012	0,012	8	0,013	0,014	0,013
3	0,013	0,013	0,013	9	0,013	0,013	0,013
4	0,013	0,012	0,011	10	0,013	0,012	0,011
5	0,012	0,012	0,012	11	0,012	0,011	0,011
6	0,011	0,014	0,012	12	0,011	0,011	0,011

Таблица 2 – Время выделения границ с применением операции утончения

I	t, c			I	t, c		
	$n = 4$	$n = 3$	$n = 2$		$n = 4$	$n = 3$	$n = 2$
1	0,055	0,055	0,055	7	0,035	0,032	0,032
2	0,045	0,045	0,047	8	0,059	0,058	0,059
3	0,051	0,0051	0,051	9	0,035	0,035	0,035
4	0,036	0,037	0,037	10	0,032	0,032	0,032
5	0,026	0,034	0,034	11	0,056	0,057	0,059
6	0,041	0,042	0,049	12	0,041	0,041	0,041

Заключение. Предложенный метод последовательного уточнения границ может быть использован для обнаружения и распознавания объектов дорожной обстановки в интеллектуальных системах беспилотных транспортных средств на основе методов машинного обучения с использованием «признаков границ». Метод прост для реализации, обладает сравнительно высоким быстродействием и возможностью гибкой настройки для реальных условий функционирования. Кроме того, метод также может быть применен и в других системах, базирующихся на технологиях компьютерного зрения. Однако следует также отметить, что, выигрывая по времени вычислений, предложенный метод проигрывает, например, методу Кэнни по качеству представления обнаруженных границ.

Библиографический список

1. Гизатуллин З. М. Исследование электромагнитной совместимости локальных вычислительных сетей при наносекундных электромагнитных воздействиях / З. М. Гизатуллин, Р. М. Гизатуллин // Радиотехника и электроника. – 2014. – Т. 59, № 5. – С. 463–466.
2. Гизатуллин З. М. Физическое моделирование помехоустойчивости электронных средств при электромагнитном воздействии промышленных макроисточников / З. М. Гизатуллин, М. Г. Нуриев, Р. М. Гизатуллин // Радиотехника и электроника. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 97–102.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Климов А. А. Архитектура автономных (беспилотных) автомобилей и инфраструктура для их эксплуатации / А. А. Климов, О. Н. Покусаев, В. П. Курьяновский, Д. Е. Намиот // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 727–736.
5. Мохаммед З. Х. М. Н. Модификация алгоритма скелетизации Зонга-Суня для задачи распознавания рукописных символов / З. Х. М. Н. Мохаммед // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 99–107.
6. Намиот Д. Е. Умные города 2016 / Д. Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 1–3.
7. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
8. Хаустов П. А. Алгоритмы распознавания рукописных символов в условиях малой обучающей выборки : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.11 / П. А. Хаустов. – Томск, 2017. – 181 с.
9. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Д. Стокман. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
10. Шахуро В. И. Российская база изображений автодорожных знаков / В. И. Шахуро, А. С. Конушин // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 2. – С. 294–300.
11. Шкиндеров М. С. Исследование функционирования системы контроля и управления доступом в условиях воздействия электростатических разрядов / М. С. Шкиндеров, З. М. Гизатуллин // Радиотехника и электроника. – 2018. – Т. 63, № 11. – С. 1181–1187.
12. Cheng H. Autonomous Intelligent Vehicles: Theory, Algorithms, and Implementation / H. Cheng. – Springer, 2011. – 152 p.
13. Handbook of Intelligent Vehicles / Eskandarian A. (ed.). – Springer, 2012. – 1599 p.
14. Hunh C. C. Image Texture Analysis / C. C. Hung, E. Song, Y. Lan. – Springer, 2019. – 258 p.
15. Krig S. Computer Vision Metrics / S. Krig. – Springer, 2016. – 637 p.
16. Lindberg T. Generalized axiomatic scale-space theory / T. Lindberg // Advances in Imaging and Electron Physics. – 2013. – Vol. 178. – P. 1–96.
17. Long F. Fundamentals of content-based image retrieval / F. Long, H. Zhang, D. Feng // Multimedia Information Retrieval and Management. – Springer, 2003. – P. 1–26.
18. Lyasheva S. A. Contours detection in the images using energy characteristics of wavelet transform / S. A. Lyasheva, M. V. Medvedev, M. P. Shleymovich // Proc. SPIE. – 2018. – Vol. 10774. – Art. № 1077417.
19. Lyasheva S. A. Formation of Energy Features of the Image based on Wavelet Transform / S. A. Lyasheva, M. P. Shleymovich // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – № 1202. – Art. № 012006.
20. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing / S. Mallat. – Academic Press, 2009. – 832 p.
21. Nixon M. S. Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision / M. S. Nixon, A. S. Aguado. – Academic Press, 2020. – 650 p.
22. Pietikinen M. Computer Vision Using Local Binary Patterns / M. Pietikinen, A. Hadid, G. Zhao, T. Ahonen. – Springer, 2011. – 212 p.
23. Shih F. Y. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques / F. Y. Shih. – Wiley-IEEE Press, 2010. – 552 p.
24. Tang Y. Y. Wavelet Theory and Its Application to Pattern Recognition / Y. Y. Tang. – World Scientific, 2009. – 463 p.
25. The USC-SIPI Image Database. – Режим доступа: <http://sipi.usc.edu/database/database.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 14.07.2020).
26. WPI Datasets. – Режим доступа: <http://computing.wpi.edu/dataset.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 14.07.2020).
27. Zhang T. Y. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns / T. Y. Zhang, C. Y. Suen // Communications of the ACM. – 1984. – Vol. 27, № 3. – P. 236–239.
28. Zhong Y. Object localization using color texture and shape / Y. Zhong, A. K. Jain // Pattern Recognition. – 2000. – Vol. 33, № 4. – P. 671–684.

References

1. Gizatullin Z. M., Gizatullin R. M. Issledovaniye elektromagnitnoy sovместimosti lokalnykh vychislitelnykh setey pri nanosekundnykh elektromagnitnykh vozdеystviyakh [Study of the electromagnetic compatibility of local area networks under the action of nanosecond electromagnetic disturbances]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio Engineering and Electronics], 2014, vol. 59, no. 5, pp. 463–466.
2. Gizatullin Z. M., Nuriev M. G., Gizatullin R. M. Fizicheskoye modelirovaniye pomekhoustoychivosti elektronnykh sredstv pri elektromagnitnom vozdеystvii industrialnykh makroistochnikov [Physical Simulation of the Interference Immunity of Electronic Equipment under the Electromagnetic Action of Industrial Macrosources]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio Engineering and Electronics], 2018, vol. 63, no. 1, pp. 97–102.
3. Gonzalez R., Woods R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital Image Processing]. Moscow, Technosfera Publ., 2012. 1104 p.
4. Klimov A. A., Pokusaev O.N., Kupriyanovsky V.P., Namiot D.E. Arkhitektura avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley i infrastruktura dlya ikh ekspluatatsii [On architecture of autonomous (driverless) cars and infrastructure for their operation]. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye* [Modern Information Technologies and IT-Education], 2018, vol. 14, no. 3, pp. 727–736.
5. Mohammed Z. H. M. N. Modifikatsiya algoritma skeletizatsii Zhang-Suen dlya zadachi raspoznavaniya rukopisnykh simvolov [Modification of the algorithm of the carcass of Zhang-Suen for the problem of handwriting recognition]. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii* [Modeling, optimization and information technology], 2018, vol. 6, no. 1, pp. 99–107.
6. Namiot D. E. Umnyye goroda 2016 [Smart Cities 2016]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 1–3.
7. Forsyth D., Ponce J. *Kompyuternoye zreniye. Sovremennyy podkhod* [Computer Vision. A Modern Approach]. Moscow, Publishing House “Williams”, 2004. 928 c.
8. Khaustov P. A. *Algoritmy raspoznavaniya rukopisnykh simvolov v usloviyakh maloy obuchayushchey vyborki* [Algorithms for recognizing handwritten characters in a small training sample]. Tomsk, 2017. 181 p.
9. Shapiro L., Stockman G. *Kompyuternoye zreniye* [Computer vision]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2006. 752 p.
10. Shakhuro V. I., Konushin A. S. Rossiyskaya baza izobrazheniy avtodorozhnykh znakov [Russian traffic sign images dataset]. *Kompyuternaya optika* [Computer Optics], 2016, vol. 40, no. 2, pp. 294–300.
11. Shkinderov M. S., Gizatullin Z. M. Issledovaniye funktsionirovaniya sistemy kontrolya i upravleniya dostupom v usloviyakh vozdеystviya elektrostaticheskikh razryadov [Study of an Access Monitoring and Control System Working in the Presence of Electrostatic Discharges]. *Radiotekhnika i elektronika* [Radio Engineering and Electronics], 2018, vol. 63, no. 11, pp. 1181–1187.
12. Cheng H. *Autonomous Intelligent Vehicles: Theory, Algorithms, and Implementation*. Springer, 2011. 152 p.
13. Eskandarian A. (ed.). *Handbook of Intelligent Vehicles*. Springer, 2012. 1599 p.
14. Hunh C. C., Song E., Lan Y. *Image Texture Analysis*. Springer, 2019. 258 p.
15. Krig S. *Computer Vision Metrics*. Springer, 2016. 637 p.
16. Lindberg T. Generalized axiomatic scale-space theory. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 2013, vol. 178, pp. 1–96.
17. Long F., Zhang H., Feng D. Fundamentals of content-based image retrieval. *Multimedia Information Retrieval and Management*. Springer, 2003, pp. 1–26.
18. Lyasheva S. A., Medvedev M. V., Shleymovich M. P. Contours detection in the images using energy characteristics of wavelet transform. *Proc. SPIE*, 2018, vol. 10774, art. no. 1077417.
19. Lyasheva S. A., Shleymovich M. P. Formation of Energy Features of the Image based on Wavelet Transform. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, no. 1202, art. no. 012006.
20. Mallat S. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press, 2009. 832 p.
21. Nixon M. S., Aguado A. S. *Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision*. Academic Press, 2020. 650 p.
22. Pietikinen M., Hadid A., Zhao G., Ahonen T. *Computer Vision Using Local Binary Patterns*. Springer, 2011. 212 p.
23. Shih F. Y. *Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques*. Wiley-IEEE Press, 2010. 552 p.
24. Tang Y. Y. *Wavelet Theory and Its Application to Pattern Recognition*. World Scientific, 2009. 463 p.
25. *The USC-SIPI Image Database*. Available at: <http://sipi.usc.edu/database/database.php>
26. *WPI Datasets*. Available at: <http://computing.wpi.edu/dataset.html>
27. Zhang T. Y., Suen C. Y. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns. *Communications of the ACM*, 1984, vol. 27, no. 3, pp. 236–239.
28. Zhong Y., Jain A. K. Object localization using color texture and shape. *Pattern Recognition*, 2000, vol. 33, no. 4, pp. 671–684.

УДК 004.032

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF INFORMATION SECURITY OF THE EDUCATIONAL INFORMATION SYSTEM BASED ON FUZZY CLASSIFIER AND HIERARCHY OF DAMAGES

The article was received by the editorial board on 30.09.2020, in the final version – 24.10.2020.

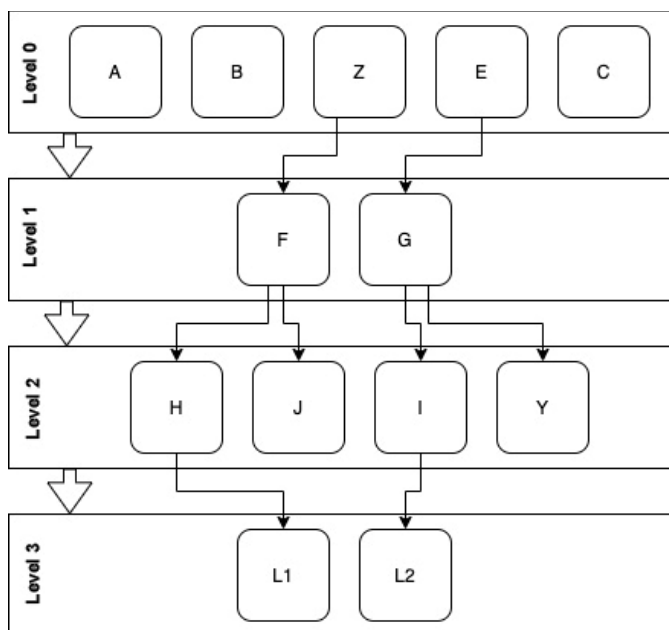
Erkulov Bekhzod A., Navoi State Pedagogical Institute, 45 Ibn Sino St., Navoi, Uzbekistan, Lecturer, e-mail: texnogarant@list.ru

Azhmukhamedov Iskandar M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: aim_agtu@mail.ru

The paper considers the problem of assessing the level of information security of educational information systems in the context of digital transformation of society. A methodology for determining the level of information security of educational information systems based on expert information and a knowledge base consisting of fuzzy production rules is proposed. This approach differs in that it allows formalizing qualitative assessments of the state of the system using the theory of fuzzy sets and assessing the level of information security of educational information systems not only in real time, but also at the stage of their development and implementation. Also, the technique involves building a hierarchy of system damage, which can impede the identification of each other. The implementation of the methodology makes it possible to increase the efficiency of the quality management process of educational information systems and the educational process as a whole.

Keywords: educational system, quality of information systems, digitalization of education, information security of the educational information system

Графическая аннотация (Graphical annotation)



МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА И ИЕРАРХИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Статья поступила в редакцию 30.09.2020, в окончательном варианте – 24.10.2020.

Ёркулов Бехзод Абдугаббарович, Навоийский государственный педагогический институт, Узбекистан, г. Навои, ул. Ибн Сино, 45,

преподаватель кафедры методики преподавания информатики, e-mail: texnogarant@list.ru

Ажмухамедов Искандар Маратович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности, e-mail: aim_agtu@mail.ru

В статье рассматривается проблема оценки уровня информационной безопасности образовательных информационных систем в условиях цифровой трансформации общества. Предлагается методика определения уровня информационной безопасности образовательных информационных систем на основе экспертной информации и базы знаний, состоящей из нечетких продукционных правил. Этот подход отличается тем, что позволяет формализовать качественные оценки состояния системы с использованием теории нечетких множеств и оценить уровень информационной безопасности образовательных информационных систем не только в режиме реального времени, но и на этапе их создания, разработки и внедрения. Также методика предполагает построение иерархии повреждений системы, которые могут препятствовать их идентификации. Внедрение методики позволяет повысить эффективность процесса управления качеством образовательных информационных систем и образовательного процесса в целом.

Ключевые слова: образовательная система, качество информационных систем, цифровизация образования, информационная безопасность образовательной информационной системы

LEVELS OF HIERARCHY

Introduction. The trend towards digitalization of all spheres of society, undoubtedly, has become a prerequisite for the introduction of electronic technologies in the field of education. And if at the dawn of the new technical revolution "digital" penetrated the higher education system, then the 2020 were marked by the digitalization of secondary schools as a kind of addition to the traditional one. After 2018, the paradigm of active implementation of online courses has strengthened in higher educational institutions, including the practice of replacing (on an alternative or non-alternative basis) traditional disciplines by distance learning. These practices provoked heated discussions, since not all disciplines turned out to be meaningfully and methodically adaptable to the online format. However, no one considered the option of a complete transition "to digital" as the only correct one.

The problems caused by the coronavirus pandemic have affected all areas of public life, including education. If earlier mainly higher educational institutions, interested in reaching the audience and implementing projects of lifelong and accessible education, gravitated towards the remote conduct of the educational process, then forced self-isolation has led to the fact that distance technologies, which are poorly demanded by the school, have become an urgent need. The massive transition of all schools to online education clearly demonstrated the problem of assessing the level of information security of educational information systems, the relevance of which was missed in "peacetime", since an increase in the load on these systems led to various negative consequences, for example, educational portals that were not designed for a one-time stay of a large number of users did not cope with the load and errors occurred, as a result of which students could not receive the assignment. The number of hacker attacks on educational systems has also frighteningly increased, in connection with this there is an urgent need to assess the state of the educational information systems (EIS) for information security, while such an assessment must be carried out constantly as part of the quality management of the EIS [3].

Fuzzy damage assessment classifier. During the analysis of the subject area, it was revealed that the current level of information security of the EIS is directly related to the intensity of damage to information assets and information protection means (IPM). Their level is most often determined by the decision-maker by tracking changes and assessed verbally [6].

To formalize linguistic assessments of damage to information assets and IPM, we introduce the linguistic variable "Parameter value" and assign it to the term-set of its values VP, which will consist of 9 elements belonging to the positive or negative range of assessments:

$VP = \{\text{Extremely negative (A}^-\text{); Above average negative (B}^-\text{); Medium negative (C}^-\text{); Low negative (D}^-\text{); Null (0); Low positive (D}^+\text{); Medium positive (C}^+\text{); Above average positive (B}^+\text{); Overwhelmingly positive (A}^+\text{)}\}$

For the graphical representation of VP, a nine-level classifier has been compiled, within the framework of which trapezoids are assigned to the membership functions of fuzzy numbers on the segment $[-1, 1] \in \mathbb{R}$:

$$\begin{aligned} &\{A^-(-1; -1; -0,85; -0,75); B^-(-0,85; -0,75; -0,65; -0,55); C^-(-0,65; -0,55; -0,45; -0,35); \\ &D^-(-0,45; -0,35; -0,25; -0,15); \langle 0 \rangle(-0,25; -0,15; 0,15; 0,25); \\ &D^+(0,15; 0,25; 0,35; 0,45); C^+(0,35; 0,45; 0,55; 0,65); \\ &B^+(0,55; 0,65; 0,75; 0,85); A^+(0,75; 0,85; 1; 1)\}, \end{aligned}$$

where in a fuzzy number $XX(a_1, a_2, a_3, a_4)$ a_1 and a_4 – abscissa of the lower base, a_2 and a_3 – abscissa of the upper base of the trapezoid.

It is important to note that the sum of all membership functions for any $x \in [-1, 1]$ must be equal to one to ensure consistency.

The advantage of such a fuzzy classifier is that if nothing is known about the parameter, except that its value can be in the interval $[-1, 1]$. In addition, the classifier is convenient for the association between

qualitative and quantitative estimates of the parameter with the maximum highest results. It is a kind of modification of the "gray" scale of D.A. Pospelova [8], which is a scale with smooth transitions between properties, in contrast to the interval scale, where the transitions occur abruptly. In the world scientific community, it is believed that smooth "gray" scales more clearly reflect expert assessments and the specifics of decision-making in conditions of uncertainty [7–9].

The proposed classifier makes it possible to move from a verbal linguistic assessment to a smooth interval scale with symmetric classification nodes in a consistent manner. In this node, the function value is equal to 1, in the rest – to zero. With distance from the node or approaching it, the expert decreases or increases the degree of confidence in classification and assessment.

It is important to note that the number of classifier levels depends on the requirements for the accuracy of the assessment and the expert's opinion. Binary (yes, no, good or bad) or ternary (high, medium, low) classifiers are often used, however, in our opinion, they are not accurate enough to determine the quality of the EIS.

Formalization of expert judgments about the amount of damage. In order to formalize expert judgments, reflecting the impact of the detected damage to information assets and IPM on the level of information security services, it is proposed to apply a set of fuzzy production rules of the form (1), which represent a knowledge base (KB):

$$\text{IF } (\&_{i=1}^N [\text{Pov}_i == P_i]) \text{ Then } (\&_{j=1}^M [(O_j)(K_j == S_j)]), \quad (1)$$

where $P_i, S_j \in VP$ – linguistic assessments of the levels of damage to assets and IPM and assessments of the state of IS characteristics; symbol $\ll = \gg$ acts as an operator for comparing two values; terms " $\text{Pov}_i = P_i$ " express the level of the i -th damage to an asset or IPM; consequence " $K_j == S_j$ " determines the state of the j -th security service; O_j reflects the degree of confidence of the expert in the investigation, and according to the Harrington metric has the following verbal relations: 0,00–0,19 – the probability is extremely low; 0,20–0,36 – probability is low; 0,37–0,63 – average probability; 0,64–0,79 – the probability is high; 0,80–1,0 – the probability is extremely high.

Revealing the damage hierarchy. In the process of filling the knowledge base, a situation is widespread when, with a high level of some damage, it becomes difficult to identify the level of others (for example, with a high level of physical damage to the device, it is not possible to establish the amount of software damage).

In order to systematize this fact, a hierarchy of injuries was formulated, consisting of 4 levels (fig. 1).

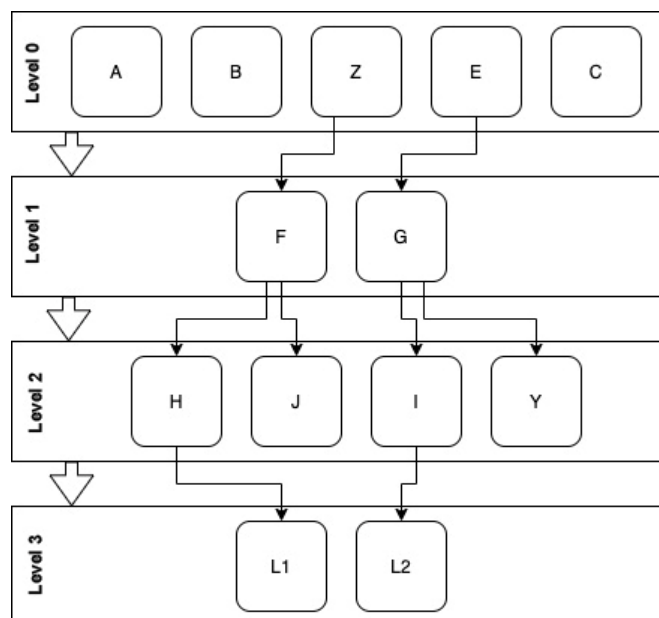


Figure 1 – Hierarchy of damage to assets and IPM

The zero level includes:

1. Damage to information transmission channels. They affect the integrity, availability and reliability of data (A).
2. Physical damage to the structural components of the servers. They affect the integrity, availability and validity of data (Z).

3. Physical damage to the structural components of workstations. They affect the integrity, availability and reliability of data (E).

4. Damage to independent structural components of IPM: technical engineering and hardware means; organizational and legal measures to protect information. They affect the confidentiality, integrity, availability and reliability of data (B).

5. Damage to media with data backups. This damage affects the availability, reliability and integrity of information (C).

The first level includes:

6. Damage to the system software of the servers. They affect the integrity, availability and reliability of data (F).

7. Damage to the system software of workstations. They affect the integrity, availability and reliability of data (G).

The second level includes:

8. Damage to the server application software (H). They affect the integrity, availability and reliability of data.

9. Damage to the application software of workstations. They affect the integrity, availability and validity of data (I).

10. Damage to software information security systems on servers. They affect the confidentiality, integrity, availability and reliability of data (J).

11. Damage to software information security systems on workstations. They affect the confidentiality, integrity, availability and reliability of data (Y).

The third level includes:

12. Damage to files on servers. They affect the integrity, availability and validity of data (L1).

13. Damage to files on workstations. They affect the integrity, availability and reliability of data (L2).

A hierarchical system of possible damage to structural components built in this logic satisfies the following conditions:

- within the same hierarchical level, damages do not affect each other;
- damages located at lower levels of the hierarchy are capable of influencing the detection of damages at higher levels.

Each of the levels of the hierarchical structure of possible damage, if desired, can be decomposed, but only under strict fulfillment of the above conditions.

In order to form a knowledge base, experts define the following rules [1]:

$$\text{IF } [\text{Pov}_i == D_i] \text{ Then } [(O_i)(K_j == S_i)], \quad (2)$$

The rules formulated in this way express the influence of each level of damage to components in blocks of the hierarchical structure on information security services.

Because the level of possible damage is characterized by values from the right side of the nine-level VP classifier, then for each of the 5 expressed values, it is required to formulate 4 rules (1 rule for each of the IS services, which may be affected by these damages). Thus, the number of rules for each possible damage included in the hierarchical block is 20. The total number of rules in the knowledge base is 415 pieces.

It is important to note that the knowledge base formulated in this way is:

- complete, because there is a logical conclusion for each possible damage and level of the hierarchical structure of damage;
- irredundant, because the absence of at least one of the rules leads to incomplete information in the knowledge base;
- consistent, since there is no situation in which two rules have the same left-hand side with different right-hand sides.

Definitely an important stage in the development of the KB is the formulation of a list of "key" damages and their "critical" levels. Key damages when reaching their critical level prevent the identification of damage to components of the next level of the hierarchy. As part of an expert assessment, it is required to identify "critical" levels of "key" damage to elements at each hierarchical level.

Level zero is characterized by the following "key" injuries:

- physical damage to EIS servers, which in case of "critical" damage do not allow identifying damage of the first, second and third levels;
- physical damage to workstations that are part of the EIS, which in case of "critical" damage do not allow identifying damage of the first, second and third levels.

The first level is characterized by the following "key" injuries:

- damage to the system software of EIS servers, which in case of "critical" damage do not allow identifying damage of the second and third levels;

- damage to the system software of workstations that are part of the EIS, which, in case of "critical" damage, do not allow identifying damage of the second and third levels.

The second level is characterized by the following "key" injuries:

- damage to the application software of the EIS servers, which, in case of "critical" damage, do not allow identifying damage of the third level;
- damage to the application software of workstations that are part of the EIS, which, in case of "critical" damage, do not allow identification of damage of the third level.

Methodology for assessing the level of information security of an educational information system.

The procedure for assessing the level of information security in the EIS can be represented as an iterative block diagram (fig. 2), which reflects the following stages:

1. Finding a matching rule in the KB.
2. Assessment of information security services at the considered hierarchical level according to the rules from the KB.
3. Placing and removing blocks that have critical critical damage.
4. Calculation of the integrated assessment of services and the general indicator of the information security of the EIS.

Assessment of the state of information security services at each hierarchical level requires the development of a procedure for using KB rules. Its input parameters are qualitative assessments of damage to information resources and IPM at the considered hierarchical level. On this basis, the search for KB rules is carried out and by formulating the rules below, the level of influence of damage to each element of the hierarchy on information security services is revealed:

$$K_j^k: \text{IF } (\&_{i=1}^W [\text{Pov}_i = \bar{P}_i]). \text{ Then } (\&_{j=1}^N [\max_m \{O_m\}_{m \in \{\arg(\min_i(\bar{S}_i))\}}] (K_j^k = \min_i(\bar{S}_i))), \quad (3)$$

where k – hierarchical block number; K_j^k – j -th information security service, characterizing the k -th block; W – number of damages in the k -th block; $\bar{P}_i$ – level of detected damage Pov_i ; N – number of information security services, affected by damage to the k -th block; $\bar{S}_i$ is the value of the information security service K_j^k determined according to the existing database rules at the damage level Pov_i equal to $\bar{P}_i$; O_m – the degree of an expert's confidence in assessing the impact of damage Pov_i , having a level $\bar{P}_i$, on the j -th information security service.

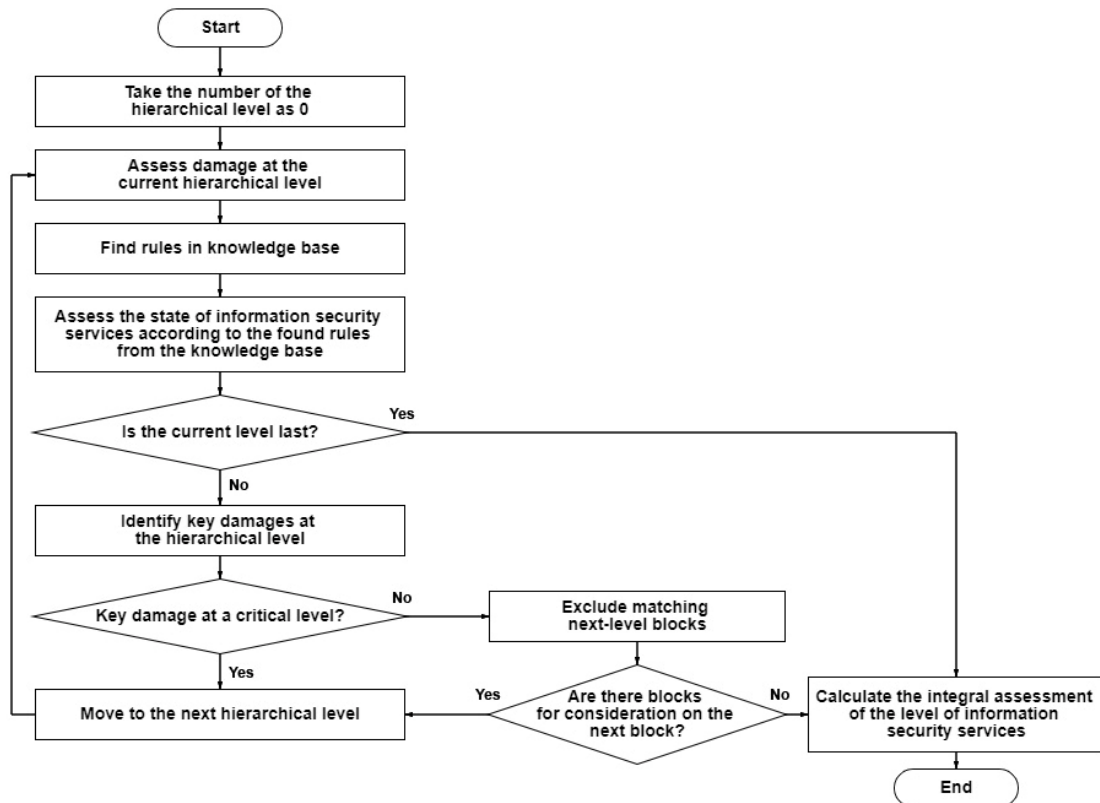


Figure 2 – Algorithm for calculating the information security indicator of the EIS

As part of the calculation of the indicator of the level of information security, OIS are generated automatically:

- at the 0-th hierarchical level of damage: 5 block rules;
- at the 1-st hierarchical level of damage: up to 2 rules;
- at the 2-nd hierarchical level of damage: up to 4 rules;
- at the 3-rd hierarchical level of damage: up to 2 rules.

The estimate of the value of information security services at each hierarchical level is calculated as the minimum value obtained as a result of using the generated block rules of the analyzed level:

$$K_j^l: \max_m \{O_m\}_{m \in \{\arg(\min_k(K_j^k))\}} [K_j^l = \min_k(K_j^k)], \quad (4)$$

where K_j^l – is the j -th security service at the l -th level.

The algorithm described in this way for determining the state of information security services at each hierarchical level with the formation of an automatic rule makes it possible to simplify the filling of the KB. In addition, it allows to reduce the complexity of the KB modification when it is necessary to delete, add or edit production rules, because block rules are subject to formation only at the time of assessing the level of information security.

The integral assessment of information security services K_j is defined as the minimum value of the information security criteria identified at each of the hierarchical levels that were found:

$$K_j: \max_m \{O_m\}_{m \in \{\arg(\min_l(K_j^l))\}} [K_j = \min_l(K_j^l)], \quad (5)$$

It is important to note that in the case of a separate analysis of the level of information security separately from the EIS quality management process, the decision maker can calculate a generalized information security indicator based on an additive convolution of previously obtained integral estimates:

$$K_0 = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot K_j, \quad (6)$$

where K_0 is a generalized indicator of information security of the EIS as a whole; n is the number of considered properties of information; $\alpha_j \in [0; 1]$ is the coefficient of influence of K_j on K_0 , $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$.

In order to determine the value of the coefficients of the influence of information properties when calculating the generalized indicator of the level of information security of the OIS, it is advisable to use a modified method of non-strict ranking, in accordance with which the decision maker enumerates the properties of information to increase the degree of their significance (criticality). At the same time, it is believed that the decision maker can assign the same degree of significance to several properties. In such a situation, the decision maker places them side by side arbitrarily. The rank of the evaluated properties is determined by their number. The property estimates calculated in this way are generalized Fishburne weights with a mixed distribution of preferences.

Conclusion. Thus, the proposed methodology for assessing the current level of information security of EIS in comparison with the existing analogues takes into account the impact of damage to information resources and information security systems on each other within hierarchical levels, as well as qualitative expert assessments of damage states. At the same time, the proposed technique, with proper adaptation, can be applied to any systems and assessments, for example, when assessing the level of operational safety, fire safety, etc.

References

1. Azhmukhamedov I. M., Protalinsky O. M. Metodologiya modelirovaniya plokho formalizuemym slabo strukturirovannykh sotsiotekhnicheskikh sistem [Methodology for modeling poorly formalized poorly structured socio-technical systems]. *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of ASTU. Series: Management, computer technology and informatics], 2013, no. 1, pp. 144–154.
2. Azhmukhamedov I. M. *Informatsionnaya bezopasnost. Sistemnyy analiz i nechetkoe kognitivnoe modelirovanie: monografiya* [Information Security. System analysis and fuzzy cognitive modeling: monograph]. Moscow, LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG; Astrakhan, 2012. 385 p.
3. Glukhova L. V. Metodologiya otsenki i upravleniya kachestvom funktsionirovaniya informatsionnykh sistem [Methodology for assessing and managing the quality of information systems functioning]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2008, no. 4, pp. 174–181.
4. Eppler M., Wittig D. Conceptualizing information quality: A review of information quality frameworks from the last ten years. *Proceedings of the 2000 Conference on Information Quality*. Boston, M.I.T., 2000, pp. 83–91.
5. Kuznetsov O. P. *Kognitivnoe modelirovanie slabo strukturirovannykh situatsiy* [Cognitive modeling of poorly structured situations]. Available at: <http://posp.raai.org/data/posp2005/Kuznetsov/kuznetsov.html> (accessed 12.28.2016).

6. Prieto-Diaz R. *The Common Criteria Evaluation Process: Process Explanation, Shortcomings, and Research Opportunities*. Harrisonburg, Virginia, James Madison University, USA, December 2002. 56 p. (Technical Report Series; CISC-TR-2002-03. Version 1.0.2/Commonwealth Information Security Center).
7. Rao P. P. B., Shankar N. R. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2012, vol. 1, no. 10, pp. 41–57.
8. Pospelov D. S. «Серые» и / или «чёрно-белые» [шкалы] ["Grey" and / or "black and white" [scales]]. *Prikladnaya ergonomika. Spetsvyпуск «Refleksivnye protsessy»* [Applied ergonomics. Special issue "Reflexive Processes"], 1994, no. 1, pp. 26–39.
9. Yarushkina N. G. *Nechyotkie gibridnye sistemy. Teoriya i praktika* [Fuzzy hybrid systems. Theory and practice]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 208 p.

Библиографический список

1. Ажмухамедов И. М. Методология моделирования плохо формализуемых слабо структурированных социотехнических систем / И. М. Ажмухамедов, О. М. Проталинский // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 1. – С. 144–154.
2. Ажмухамедов И. М. Информационная безопасность. Системный анализ и нечеткое когнитивное моделирование: монография / И. М. Ажмухамедов. – Москва : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. ; Астрахань, 2012. – 385 с.
3. Глухова Л. В. Методология оценки и управления качеством функционирования информационных систем / Л. В. Глухова // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – № 4. – С. 174–181.
4. Eppler M., Wittig D. Conceptualizing information quality: A review of information quality frameworks from the last ten years // *Proceedings of the 2000 Conference on Information Quality*. – Boston : M.I.T., 2000. – P. 83–91.
5. Кузнецов О. П. Когнитивное моделирование слабо структурированных ситуаций / О. П. Кузнецов. – Режим доступа: <http://posp.raai.org/data/posp2005/Kuznetsov/kuznetsov.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 28.12.2016).
6. Prieto-Diaz R. *The Common Criteria Evaluation Process: Process Explanation, Shortcomings, and Research Opportunities* / R. Prieto-Diaz. – Harrisonburg, Virginia : James Madison University, USA, December 2002. – 56 p. – (Technical Report Series; CISC-TR-2002-03. Version 1.0.2/Commonwealth Information Security Center).
7. Rao P. P. B. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight / P. P. B. Rao, N. R. Shankar // *International Journal of Applied Science and Engineering*. – 2012. – Vol. 1, № 10. – P. 41–57.
8. Пospelов Д. С. «Серые» и / или «чёрно-белые» [шкалы] / Д. С. Пospelов // Прикладная эргономика. Спецвыпуск «Рефлексивные процессы». – 1994. – № 1. – С. 26–39.
9. Ярушкина Н. Г. Нечёткие гибридные системы. Теория и практика / Н. Г. Ярушкина. – Москва : Физматлит, 2007. – 208 с.

УДК 004.8, 81'322

КЛАССИФИКАЦИЯ СУЩЕСТВИТЕЛЬНЫХ ТАДЖИКСКОГО ЯЗЫКА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ

Статья поступила в редакцию 25.03.2020, в окончательном варианте – 18.07.2020.

Мадибрагимов Навруз Шавкатович, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина (РГРТУ), 390005, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, аспирант, e-mail: navguzmadibragimov@gmail.com

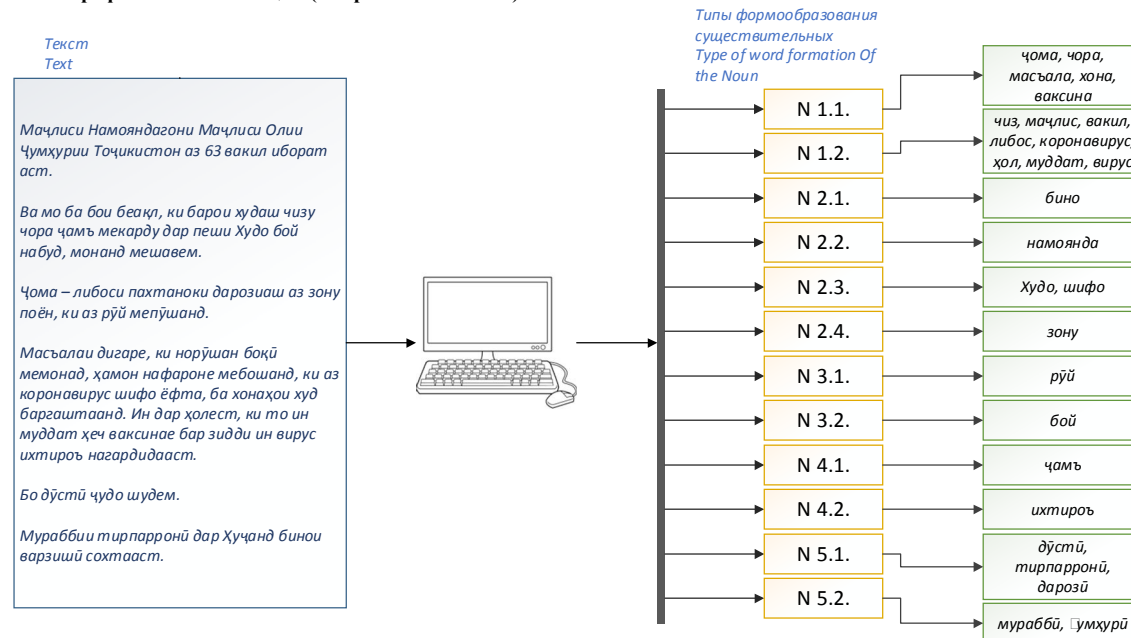
Пруцков Александр Викторович, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина (РязГМУ), 390005, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1; Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 390026, Российская Федерация, г. Рязань, ул. Высоковольная, 9,

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной и прикладной математики РГРТУ, доцент кафедры математики, физики и медицинской информатики РязГМУ; e-mail: mail@prutzkow.com

Таджикская компьютерная лингвистика остро нуждается в развитии, так как много трудов в этой сфере выполнены только на теоретическом уровне. Авторами данной статьи реализован универсальный метод генерации и определения словоформ таджикского языка. В работе описывается автоматическая обработка текстов и ее уровни, рассматривается морфологический уровень. Анализируются особенности таджикского языка и его система морфологии. Выполнен обзор исследований в области автоматической обработки текстов на таджикском языке на морфологическом уровне. Приводится предложенная классификация существительных таджикского языка по типам формообразования. Выделены 5 типов формообразования существительных таджикского языка и 12 подтипов. Для выделенных типов и подтипов охарактеризованы отличительные особенности. Результаты данного исследования послужили основой для программной реализации генерации форм слов таджикского языка в виде интернет-приложения.

Ключевые слова: компьютерная лингвистика, автоматическая обработка текста, таджикский язык, морфология таджикского языка, модель формообразования, генерация и определение форм слов, интернет-приложение

Графическая аннотация (Graphical annotation)



CLASSIFICATION OF NOUNS OF THE TAJIK LANGUAGE FOR NATURAL LANGUAGE PROCESSING

The article was received by the editorial board on 25.03.2020, in the final version – 18.07.2020.

Madibragimov Navruz Sh., Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin (RSREU), 59/1 Gagarin St., Ryazan, 390005, Russian Federation, postgraduate, e-mail: navruzmadibragimov@gmail.com

Prutzkow Alexander V., Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina (RSREU), 59/1 Gagarin St., Ryazan, 390005, Russian Federation; Ryazan State Medical University named after I. P. Pavlov (RSMU), 390026, Russian Federation, Ryazan, Vysokovoltynaya str., 9

Doct. Sci. (Engineering), Professor of RSREU Department of Computational and Applied Mathematics, Assistant Professor of RSMU Department of Mathematics, Physics, and Medical Computer Sciences, e-mail: mail@prutzkow.com

Tajik computer linguistics remains in dire need of development because many works in this direction have been performed only at a theoretical level. We have implemented the use of a universal method for generating and determining word forms for the Tajik language. Also, we have described natural language processing its levels, consider the morphological level. The features of the Tajik language and the morphology system of the Tajik language are analyzed. Studies are also presented in the field of the Tajik language processing at a morphological level. Classification of the Tajik nouns by type of morphology is explained in detail. We have found 5 types of the Tajik nouns word-forming and 12 subtypes. These types and subtypes are characterized by peculiarity. The results of this study are the basis of software implementation of word form generation of Tajik language. The development of an Internet application for the generation of Tajik word forms is briefly outlined.

Keywords: computer linguistics, natural language linguistics, Tajik language, morphology of the Tajik language, form-building model, generation and recognition of word-forms, Internet application

Введение. Задачи автоматической обработки текстов (АОТ) продолжают оставаться актуальными уже на протяжении нескольких десятилетий. Причины этого: большая часть знаний, накопленных человечеством, хранится в виде текстов (например, в книгах и интернете); развитие информационно-телекоммуникационных технологий, обеспечившее расширение возможностей АОТ.

Наиболее активно развивающимися областями АОТ являются следующие: машинный перевод [9]; выявление в тексте знаний [5]; обработка корпусов текстов [28]; выявление нежелательных почтовых отправок [10]; анализ персонального стиля автора текста (например, исследование [11]).

Для решения перечисленных, а также ряда других задач обработки текста, используется самый разнообразный математический аппарат: формальные языки и грамматики, алгебраические системы (например, алгебра предикатов [19]), методы математической статистики [18] и другие [22]. На сегодняшний день развитие АОТ на таджикском языке находится на раннем этапе и остро нуждается в дальнейших исследованиях. В перечисленных выше областях АОТ для таджикского языка нет работ с практической реализацией, за исключением [4]. Однако в этой области выполнены много трудов на теоретическом уровне.

Автоматическая обработка текстов и ее современное состояние. Организация взаимодействия человека с компьютером требует решения задачи компьютерного анализа и синтеза естественных языков (ЕЯ). Анализ подразумевает понимание речи или текста, а синтез – их генерацию. АОТ может рассматриваться как «преобразование текста на искусственном или естественном языке с помощью компьютера» [29]. Все запросы пользователя, поступающие в компьютер, и выдаваемые пользователю в любом виде ответы преобразуются и обрабатываются в виде текста. Поэтому задача АОТ является важной для разработки любого естественно-языкового интерфейса. Для преобразования текстового запроса пользователя в смысловое представление, а также для того, чтобы смысловое представление обратно преобразовать в текстовое представление, «необходимо выполнить АОТ на морфологическом, синтаксическом и семантическом уровнях» [23]. На морфологическом уровне происходит определение частей речи, выделение грамматической основы слова, приведение слова к стандартной словарной форме, то есть нахождение основы в словоформе. На синтаксическом уровне определяется синтаксическая структура предложения. На семантическом уровне устанавливаются смысловые связи и отношения между словами [30].

Морфологический уровень автоматической обработки текстов. Морфологический уровень АОТ предназначен для решения задач генерации (получения формы слова с заданными грамматическими значениями) и определения форм слов (распознавания по заданной словоформе ее грамматического значения и основы (лемматизация)) [21].

Существует большое число методов морфологического анализа и синтеза [23, 32]. В работах [19, 31] приводятся описания модели формообразования и метода генерации и определения форм слов

различных ЕЯ. Кратко опишем модель формообразования, необходимого для дальнейшего изложения.

Модель формообразования является алгебраической:

$$E = \{\Psi, \Omega\},$$

где Ψ – множество слов ЕЯ; Ω – множество операций над словами.

Множество Ψ включает множество нормальных форм слов (основ) S_M , множество остальных форм слов F_M ($S_M \cap F_M = \emptyset$), пустое слово $\varnothing$:

$$\Psi = S_M \cup F_M \cup \{\varnothing\}.$$

Множество Ω включает множество прямых операций Θ_M ; множество обратных операций Θ'_M :

$$\Omega = \Theta_M \cup \Theta'_M.$$

При этом $\Theta_M \cap \Theta'_M = \emptyset$; $|\Theta_M| = |\Theta'_M| = N_\Theta$.

Множество Θ_M включает три операции:

- 1) префикс $P + A$, где $A \in \Psi$;
- 2) постфикс $A + P$;
- 3) замена первого слева вхождения подстроки H на подстроку P $H \rightarrow P$.

Для каждой прямой операции должна существовать обратная по действию операция.

Множество Θ_M может включать другие операции, необходимые для описания формообразования ЕЯ.

Последовательность операций называется цепочкой преобразований. Последовательность прямых операций называется прямой цепочкой R . Эта цепочка преобразует основу в словоформу. Обратная последовательность обратных операций называется обратной цепочкой R' . Обратная цепочка преобразует форму слова в основу. Для каждой прямой цепочки существует обратная цепочка.

Необходимость поддержания такой взаимосвязи между основой и словоформой налагает ограничения на цепочки и составляющие их операции. Цепочка преобразований должна обладать следующими свойствами:

- 1) однозначность результата: цепочка всегда приводит к одному и тому же результату;
- 2) обратимость действия: применение к форме A прямой цепочки, а затем обратной цепочки не изменяет ее: $A = (A(R))(R')$.

В [21] показано, что предложенные модель и метод применимы к пяти ЕЯ различных групп и семейств. Также в [21] доказано утверждение, что получение любой грамматической формы любого языка (даже неестественного) с морфологией можно представить в виде цепочки преобразований. Следовательно, словоизменение любого ЕЯ, в том числе и таджикского, можно описать в терминах модели формообразования. Таджикский язык был выбран по причине того, что один из авторов статьи является носителем этого языка и ему хорошо известна его морфология. В то же время этот язык имеет ряд особенностей, важных с точки зрения проведения морфологического анализа фраз.

Конкретная цель исследования. Целью данного исследования является формализация образования форм слов таджикского языка на основе предложенной модели формообразования. В этой статье будет представлена формализация образования существительных таджикского языка. Формализация образования форм слов состоит из нижеследующих этапов:

- 1) классифицировать слова по типам формообразования; слова будут относиться к определенному типу формообразования, если их словоизменение можно описать одинаковым способом преобразований;

- 2) описать словоизменения выделенных типов цепочками преобразований.

Обзор таджикского языка и его морфологии представлен в приложении 1. Обзор исследований в области АОТ на таджикском языке на морфологическом уровне в приложении 2.

Классификация существительных таджикского языка по типам формообразования. Метод определения и генерации словоформ путем представления образования форм слов последовательностью преобразований требует классифицировать основы слов ЕЯ. На рисунке 1 приведен алгоритм классификации основы ЕЯ по типу формообразования.

В настоящее время производится работа по классификации слов таджикского языка по правилам изменения слов и принципов словообразования. Данная классификация послужит для описания слов с помощью метода генерации и определения словоформ [12–13]. В работе [4] перечислены аффиксы для частей речи таджикского языка, и данные префиксы и постфиксы представлены в разделах каждой части речи в виде таблиц. Для существительного таджикского языка определены 1 801 префикс и постфикс. В данной работе исследуются 1 381 слово – основы существительных таджикского языка из словаря [2] и добавленные авторами слова. Стоит отметить, что небольшой словарь из книги [2] содержит наиболее употребляемые слова в таджикском языке. Так как словоизменение аффиксацией существительных таджикского языка происходит в зависимости от окончания слов, то у нас появилась необходимость добавить несколько слов в словарь для полноты и достоверности исследования.

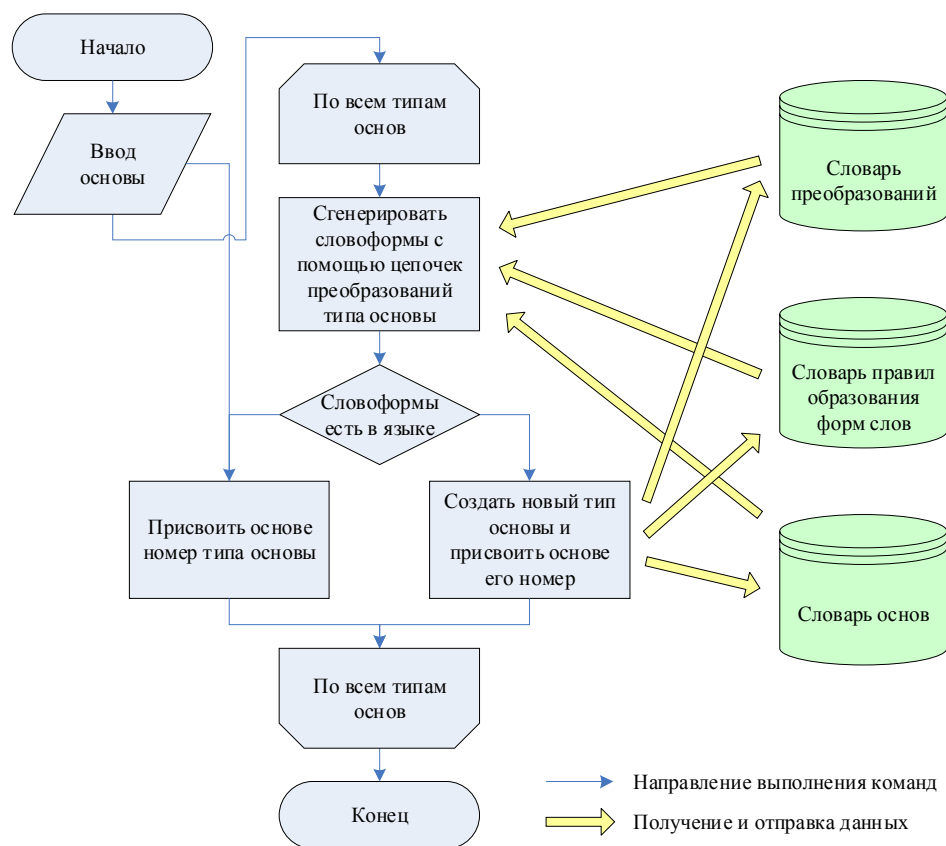


Рисунок 1 – Алгоритм классификации основы естественного языка по типу формообразования

Слова были исследованы в алфавитном порядке и классифицированы по типам формообразования. Классификация производилась следующим образом. Рассматривалось первое слово; описывались всевозможные преобразования его словоизменения. Рассматриваемое слово приписывалось к одному типу словоформ существительных. Затем рассматривалось второе слово, и если порядок его словоизменения совпадал с предыдущим словом (словами), то оно относилось к существующему типу, иначе оно становилось представителем нового типа и т.д.

После анализа формообразования существительных были выделены следующие типы и под-типы формообразования существительных таджикского языка:

1. **N 1.** Основы слов, которые заканчиваются на согласные буквы (*б, в, г, з, д, ж, з, к, қ, л, м, н, п, р, с, т, ф, х, ҷ, ч, ҷ, ш*). Этот тип словоформ описывается тем, что при морфологическом преобразовании слов основы не меняются, а постфиксы и вспомогательные слова приписываются по общим правилам, не меняя основу. Местоименные суффиксы применяются из 1 вида постфиксов (*+ат, +аиш* и т.п.) [12].

1.1. **N 1.1.** Основы слов, которые заканчиваются на согласные буквы (*б, в, г, з, д, ж, з, к, қ, л, м, н, п, р, с, т, ф, х, ҷ, ч, ҷ, ш*) и на гласные буквы «а», «я», для которых в зависимости от окончания и стиля множественное число образуется только с помощью добавления постфикса *-ҳо* [2]. Пример: *телефон – телефонам* (мой телефон), *телефонат* (твое телефон), *телефонаиш* (его/её телефон), ..., *телефони* (изафет), *телефонро* (телефона) ..., *телефонҳо* (телефоны) ...

1.2. **N 1.2.** Основы слов, множественное число которых образуется при помощи постфиксов *-ҳо* и *-он*. Пример: *сухан* (слово) – *суханам* (мое слово), *суханат* (твое слово), *суханаиш* (его/её слово), ..., *сухани* (изафет), *суханро* (слова – род. п.), *суханҳо* (слова – мн. ч.), *суханон* (слова – мн. ч.) ...

2. **N 2.** Основы слов, которые заканчиваются на гласные буквы (*а, е, ё, и, о, у, ў, э, ю, я*). При морфологическом преобразовании слов основы не меняются, а постфиксы и вспомогательные слова приписываются по общим правилам, не меняя основу.

2.1. **N 2.1.** Основы слов, которые заканчиваются на гласные буквы (*е, ё, и, о, у, ў, э, ю, я*), множественное число которых образуется при помощи постфикса *-ҳо*. Местоименные суффиксы применяются из 2-го вида (*+ят, +аиш* и т.д.). Пример: *савдо* (торговля) – *савдоям* (моя торговля),

савдоят (твоя торговля), *савдоятон* (ваша торговля), *савдояшон* (их торговля), ..., *савдои* (изафет), *савдоро* (торговли – р.п.), *савдоҳо* (торговли – мн. ч.) ...

2.2. N 2.2. Основы слов, которые заканчиваются на гласные буквы «а», «я», множественное число которых образуется при помощи постфиксов *-ҳо* и *-гон*. Местоименные суффиксы применяются из 1-го вида постфиксов (*+ам*, *+аш* и т.п.). Пример: *нависанда* (писатель) – *нависандаам* (мой писатель, я писатель), ..., *нависандаашон* (их писатель), *нависандаҳо* (писатели), *нависандагон* (писатели); *ҳамсоя* (сосед) – *ҳамсоям* (мой сосед), *ҳамсоят* (твой сосед), ..., *ҳамсояҳо* (соседи – мн. ч.), *ҳамсоягон* (соседи – мн. ч.) ...

2.3. N 2.3. Основы слов, которые заканчиваются на гласные буквы «о», для которых свойственно образование множественного числа, при помощи постфиксов *-ҳо* и *-ён*. Местоименные суффиксы, применяются из 2-го вида (*+ят*, *+иш* и т.д.). Пример: *бобо* (дедушка) – *бобоям* (мой дедушка), ..., *бобояшон* (их дедушка), *бобоҳо* (дедушки – мн. ч.), *бобоён* (дедушки – мн. ч.) ...

2.4. N 2.4. Основы слов, которые заканчиваются на гласные буквы «у», «ӯ», множественное число которых образуется при помощи постфиксов *-ҳо* и *-вон*. Местоименные суффиксы применяются из 2-го вида (*+ят*, *+иш* и т.д.). Пример: *оҳу* (антилопа) – *оҳуям* (моя антилопа), ..., *оҳуяшон* (их антилопа), *оҳуҳо* (антилопы – мн. ч.), *оҳувон* (антилопы – мн. ч.); *абрӯ* (бровь) – *абрӯям* (моя бровь), ..., *абрӯшон* (их бровь), *абрӯҳо* (брови – мн. ч.), *абрӯвон* (брови – мн. ч.) ...

3. N 3. Основы слов, которые заканчиваются на «й» (и краткое). При добавлении местоименных суффиксов буква «й» в конце слова удаляется и применяются из 2-го вида. Все другие постфиксы и вспомогательные слова применяются по общим правилам.

3.1. N 3.1. Основы слов, множественное число которых образуется только при помощи постфикса *-ҳо*. Пример: *най* (флейта) – *наии* (изафет), *найро* (флейты – р. п.), *наям* (моя флейта), *наят* (твоя флейта), *наишон* (их флейта), *найҳо* (флейты – мн. ч.) ...

3.2. N 3.2. Основы слов, множественное число которых образуется при помощи постфиксов *-ҳо* и *-ён*. При добавлении местоименных суффиксов буква «й» в конце удаляется и применяются из 2-го вида. Остальные постфиксы и вспомогательные слова добавляются по общим правилам. Пример: *бой* (богатый человек) – *бойи* (изафет), *бойро* (богатого человека), *бойм* (мой богатый человек), *бойт* (твой богатый человек), *бойшон* (их богатый человек), *бойҳо*, *бойён* (богатые люди) ...

4. N 4. Основы слов, которые заканчиваются на безгласную букву «ъ». Постфиксы и вспомогательные слова добавляются по общим правилам, не изменяя основу.

4.1. N 4.1. Предпоследняя буква основы, т. е. буква, стоящая перед «ъ», – согласная. Местоименные суффиксы применяются по принципу типа N 1.1. Пример: *навъ* (сорт) – *навъам* (мой сорт), *навъаш* (твой сорт), ... *навъро* (сорта – р. п.) ...

4.2. N 4.2. Предпоследняя буква основы, буква, стоящая перед «ъ», – гласная. Местоименные суффиксы применяются по принципу типа N 2.1. Пример: *мавзӯ* (тема) – *мавзӯям* (моя тема), *мавзӯиаш* (его/её тема), ... *мавзӯро* (темы – р. п.) ...

5. N 5. Основы слов, которые заканчиваются на букву «й» (и заданок (название буквы «й» (и с макроном) на таджикском языке). При добавлении постфикса буква «й» в конце заменяется на «и». Местоименные суффиксы, как и слова с гласным окончанием, применяются из 2-го вида. Вспомогательные слова применяются по общим правилам.

5.1. N 5.1. Основы слов, множественное число которых образуется только при помощи постфикса *-ҳо*. Пример: *сабзӣ* (морковь) – *сабзии* (изафет), *сабзиро* (моркови – р. п.), *сабзиям* (моя морковь), *сабзият* (твоя морковь), *сабзиҳо* (моркови – мн. ч.) ...

5.2. N 5.2. Основы слов, множественное число которых образуется при помощи постфиксов *-ҳо*, и *-ён*. Пример: *мураббӣ* (тренер) – *мураббии* (изафет), *мураббиро* (тренера – р. п.), *мураббиям* (мой тренер), *мураббият* (твой тренер), *мураббиҳо*, *мураббиён* (тренеры – мн. ч.) ...

Представленный словарь из 1381 существительного охватывает все слова-основы со всевозможными видами окончаний, что является достаточной базой для выявления всех типов и подтипов словоформ.

Местоименные суффиксы бывают двух видов:

1-й вид – постфиксы *+ам*, *+ат*, *+аш*, *+амон*, *+атон*, *+ашон*, применяются к существительным с окончанием на согласную букву;

2-й вид – постфиксы *+ям*, *+ят*, *+иш*, *+ямон*, *+ишон*, *+ятон*, используют существительные с окончанием на гласную букву.

Обобщая классифицирование типов существительных, можно сделать выводы, что по типам N 1, N 2 и N 4 используется только операция добавления постфиксов справа, а в типах N 3 и N 5 используется операция замены одной подстроки символов другой подстрокой.

В результате классификации существительных по типам формообразования была получена следующая статистика для указанного выше списка из 1381 слова (табл. 1).

Таблица 1 – Типы формообразования существительных таджикского языка и количество соответствующих им слов

№	Тип формообразования	Количество слов
1	N 1.1	792
2	N 1.2	398
3	N 2.1	56
4	N 2.2	37
5	N 2.3	10
6	N 2.4	4
7	N 3.1	10
8	N 3.2	3
9	N 4.1	3
10	N 4.2	8
11	N 5.1	36
12	N 5.2	24
Всего		1381

Большинство слов-существительных относятся к первому типу N 1, из них в типе N 1.1 слов почти два раза больше, чем в типе N 1.2. В целом тип N 1 включает в себя на порядок больше слов относительно других типов. Это означает, что для большинства существительных таджикского языка существуют единые правила словоизменения.

Описание словоизменения типов формообразования цепочками преобразований. В таджикском языке существуют 19 односложных (простых) префиксов: *ба, бар, бе, би, бо, боз, бу, во, дар, ма, ме, на, но, то, фар, фур, хам, хаме, хар* [16]. Перечисленные префиксы составляют исчерпывающий список простых префиксов таджикского языка, и этот перечень нельзя дополнить [7]. Префиксы в таджикском языке могут формироваться из трёх простых префиксов, иначе говоря, они могут быть трехуровневой сложности. Сочетая два или три простых префикса, можно образовать составные префиксы, при этом у двойных или тройных префиксов не будут повторяющиеся префиксы [4]. Но не все сочетания простых префиксов дают правильные составные префиксы. В работе [4] выполнялась процедура распознавания префиксов экспертом среди всевозможных сочетаний простых префиксов. В результате был выявлен 81 префикс, и этот набор является исчерпывающим.

В [4] на основе работы [7] и собственных исследований авторов составлен список из 113 простых постфиксов. В таджикском языке постфиксы могут быть составлены максимум из восьми простых постфиксов. Так как с помощью комбинаторно-статистического метода практически невозможно определить все составные постфиксы таджикского литературного языка, то итерационными процедурами (обработкой небольшой коллекции текстов) на данный момент составлен список постфиксов в размере 2 533 [4].

Словоформы в таджикском языке бывают словоизменительные, словообразовательные и словосочетательные [4]. Существительные в таджикском языке, принимая префиксы, образуют другие существительные, создавая словообразовательную словоформу. Мы рассматриваем словоизменительные и словосочетательные словоформы, поэтому изучаем словоизменение с помощью постфиксов. В ходе исследования было выявлено, что постфиксы существительных в таджикском языке могут быть составлены максимум из шести простых постфиксов. Это выяснено при формировании сложных постфиксов в виде сочетания неповторяющихся простых постфиксов. В таджикском языке выражения из нескольких слов можно составить из одной словосочетательной словоформы. Например, выражение «*ҳамаи аспҳои майдаи моро ва*» («*всех наших маленьких лошадок и...*») можно выразить одной словоформой «*аспчаяконамонроу*» или «*аспчаяконамонрову*», и такой прием равносильно используется как в разговорной речи, так и в литературном таджикском языке. На рисунке 2 приведен пример части графа формообразования слова «*асп*» («*лошадь*») (тип N 1.2).

Пространство словоформ можно расширить очень значительно, учитывая многоуровневость словоформ таджикского языка, а также наличием собранной большой базой аффиксов. Представления цепочками преобразований помогут при разработке программного обеспечения для решения задач генерации и определения форм слов таджикского языка.

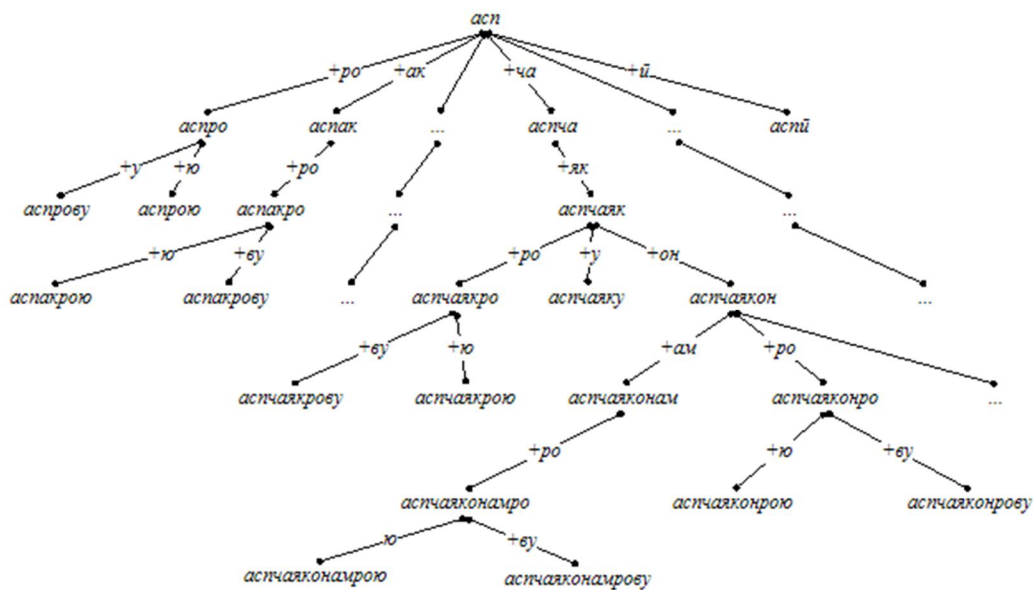


Рисунок 2 – Пример некоторых цепочек преобразований слова «асп» («лошадь»)

Разработка интернет-приложения для генерации таджикских словоформ. Классификации типов существительных таджикского языка реализована авторами в виде интернет-приложения на языке PHP7, с помощью фреймворка CodeIgniter версии 3.1.10. Интернет-приложение разработано на основе собственных знаний авторов о морфологии таджикского языка и консультаций специалистов в этой области. Внешний интерфейс интернет-приложения использует HTML, CSS, Javascript, объединенный в единый инструментарий – фреймворк Bootstrap версии 4.0 компании Twitter. Словарь основ существительных использован из словаря книги [2], а также есть добавления некоторых слов от самих авторов для полноты исследования. Из списка аффиксов существительных в диссертации Г.М. Довудова [4] была сформирована база постфиксов.

Практическая реализация интернет-приложения включает базу данных, состоящую из таблиц частей речи, аффиксов и словаря основ с классифицированными типами слов. Авторы назвали интернет-приложение «Ибора» (*ибора* – тадж. «словосочетание»).

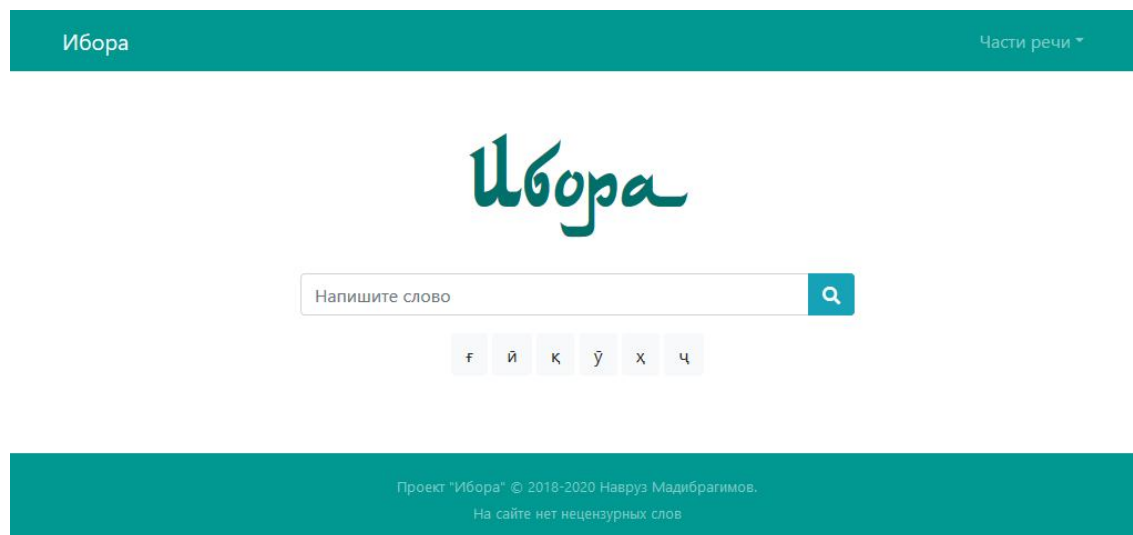


Рисунок 3 – Главная страница интернет-приложения «Ибора»

В интернет-приложении создана форма генерации словоформ. В форме есть кнопки ввода таджикских букв, которых нет на кириллической клавиатуре. При отправке слова через форму генерируются всевозможные варианты словоформ выбранного слова и выводятся на странице в виде списка в четыре столбца (рис. 4). Генерация осуществляется по правилам классификации на типы, описанные выше в данной статье.

Ибора						Части речи
ОШ						
ошак	ошакашнро	ошакхоятонанд	ошчаякамнрову	ошчаяку	ошчаяшоннио	
ошакак	ошакашнрову	ошакхоятонанду	ошчаякамнрою	ошчаякхо	ошчаяшонро	
ошакакам	ошакашнрою	ошакхоятоном	ошчаякамону	ошчаякхову	ошчаяшонрову	
ошакакаманд	ошакашону	ошакхоятоному	ошчаякамро	ошчаякхое	ошчаяшонрою	
ошакакаманду	ошакашро	ошакхоятонро	ошчаякамрову	ошчаякхоед	ошчаяшону	
ошакакамед	ошакашрову	ошакхоятонрову	ошчаякамрою	ошчаякхоеду	ошчаяшро	
ошакакамеду	ошакашрою	ошакхоятонрою	ошчаякаму	ошчаякхоем	ошчаяшрову	
ошакаками	ошакашу	ошакхоятону	ошчаяканд	ошчаякхоему	ошчаяшрою	
ошакакаминуву	ошаке	ошакхоятро	ошчаяканду	ошчаякхои	ошчаяшу	
ошакакаминио	ошакед	ошакхоятрову	ошчаякат	ошчаякхоеиву	ошчаха	
ошакакамон	ошакеду	ошакхоятрою	ошчаякатам	ошчаякхоеию	ошчахакам	
ошакакамонанд	ошакем	ошакхояту	ошчаякатаму	ошчаякхоро	ошчахакаманд	
ошакакамонанду	ошакему	ошакхояш	ошчаякатанд	ошчаякхорову	ошчахакаманду	
ошакакамонед	ошаки	ошакхояшам	ошчаякатанду	ошчаякхорою	ошчахакамед	
ошакакамонеду	ошакиву	ошакхояшаму	ошчаякатем	ошчаякхоею	ошчахакамеду	
ошакакамони	ошакию	ошакхояшанд	ошчаякатему	ошчаякхоеям	ошчахаками	
ошакакаминуву	ошакон	ошакхояшанду	ошчаякатон	ошчаякхояманд	ошчахакаминуву	
ошакакаминио	ошаконам	ошакхояшем	ошчаякатонам	ошчаякхояманду	ошчахакаминио	
ошакакамнро	ошаконаманд	ошакхояшешу	ошчаякатонаму	ошчаякхоямед	ошчахакамон	
ошакакамнрову	ошаконаманду	ошакхояшешу	ошчаякатонанд	ошчаякхоямеду	ошчахакамонанд	
ошакакамнрою	ошаконамед	ошакхояшешу	ошчаякатонанду	ошчаякхоями	ошчахакамонанду	
ошакакамону	ошаконамеду	ошакхояшию	ошчаякатонем	ошчаякхояминуву	ошчахакамонед	
ошакакамро	ошаконами	ошакхояшон	ошчаякатонему	ошчаякхояминио	ошчахакамонеду	
ошакакамрову	ошаконамиву	ошакхояшонам	ошчаякатонро	ошчаякхоямон	ошчахакамони	
ошакакамрою	ошаконамию	ошакхояшонаму	ошчаякатонрову	ошчаякхоямонанд	ошчахакаминуву	
ошакакаму	ошаконамон	ошакхояшонед	ошчаякатонрою	ошчаякхоямонанду	ошчахакаминио	
ошакаканд	ошаконамонанд	ошакхояшонеду	ошчаякатону	ошчаякхоямонед	ошчахакамонро	
ошакаканду	ошаконамонанду	ошакхояшонем	ошчаякатро	ошчаякхоямонеду	ошчахакамонрову	
ошакакат	ошаконамонед	ошакхояшонему	ошчаякатрову	ошчаякхоямони	ошчахакамонрою	
ошакакатам	ошаконамонеду	ошакхояшони	ошчаякатрою	ошчаякхояминуву	ошчахакамону	
ошакакатаму	ошаконамони	ошакхояшониву	ошчаякату	ошчаякхояминио	ошчахакамро	
ошакакатанд	ошаконаминуву	ошакхояшонию	ошчаякаш	ошчаякхоямонро	ошчахакамрову	
ошакакатанду	ошаконаминию	ошакхояшонро	ошчаякашам	ошчаякхоямонрову	ошчахакамрою	
ошакакатем	ошаконамонро	ошакхояшонрову	ошчаякашаму	ошчаякхоямонрою	ошчахакаму	
ошакакатему	ошаконамонрову	ошакхояшонрою	ошчаякашанд	ошчаякхоямону	ошчахаканд	
ошакакатон	ошаконамонрою	ошакхояшону	ошчаякашанду	ошчаякхоямро	ошчахаканду	
ошакакатонам	ошаконамону	ошакхояшро	ошчаякашем	ошчаякхоямрову	ошчахакат	
ошакакатонаму	ошаконамро	ошакхояшрову	ошчаякашешу	ошчаякхоямрою	ошчахакатам	
ошакакатонанд	ошаконамрову	ошакхояшрою	ошчаякаши	ошчаякхояму	ошчахакатаму	
ошакакатонанду	ошаконамрою	ошакхояшрою	ошчаякашиву	ошчаякхоянд	ошчахакатанд	
ошакакатонем	ошаконаму	ошакхой	ошчаякашию	ошчаякхоянду	ошчахакатанду	
ошакакатонему	ошаконанд	ошакй	ошчаякашон	ошчаякхоят	ошчахакатем	
ошакакатонро	ошаконанду	ошам	ошчаякашонам	ошчаякхоятам	ошчахакатему	
ошакакатонрову	ошаконат	ошаманд	ошчаякашонаму	ошчаякхоятаму	ошчахакатон	
ошакакатонрою	ошаконатам	ошаманду	ошчаякашонед	ошчаякхоятанд	ошчахакатонам	
ошакакатону	ошаконатаму	ошамед	ошчаякашонеду	ошчаякхоятанду	ошчахакатонаму	
ошакакатро		ошамеду		ошчаякхоятем		
ошчаяхоямонеду						
ошчахоямони						
ошчахояминуву						
ошчахояминио						
ошчахоямонро						
ошчахоямонрову						
ошчахоямонрою						
ошчахоямону						
ошчахоямро						
ошчахоямрову						
ошчахоямрою						
ошчахояму						
ошчахоянд						
ошчахоянду						
Количество словоформ – 1263						
К списку						

Рисунок 4 – Страница сгенерированных словоформ слова «ош» (русс. «шлов»)

Поскольку база слов основ существительных у нас относительно небольшая, всего 1382 слов, то в интернет-приложении создан список слов – основ существительных, каждое из которых в свою очередь является ссылкой на страницу сгенерированных словоформ данного слова.

Ибора

Части речи ▾

Существительные

абад	аблах	абр	абрешим	абрешимресй	абру
абчад	авкот	авлод	адабиёт	адабиётшинос	адиб
адо	азиз	азим	азият	азм	азоб
айвон	айём	айнак	ака	аккас	аккос
аксар	аксарият	акрабак	алаф	алвон	амак
амал	амалиёт	амалия	амма	амният	амр
ангиштсанг	ангур	ангуркан	ангушт	андеша	андова
андом	анцир	анчом	анъана	арақ	арафа
арбоб	арз	арзиш	арра	асар	асбоб
асир	аскар	аския	аслиха	асос	асосгузор
асп	аср	ато	атола	атроф	атса
	афзо	асун		афсӯс	

шеър	шаргуӣ	шики...	шикаст		шикорчи
шикоят	шиллик	шим	шинак	шинос	шиор
шир	ширхӯр	шифо	шифохона	шифт	шогирд
шодӣ	шоир	шоира	шолӣ	шомӣена	шомма
шоҳ	шоҳ	шоҳӣ	шоҳӣ	шубҳа	шуғл
шудгор	шумора	шунаванда	шуоъ	шӯр	шӯриш
шӯришгар	шӯро	шӯхрат	шучоат	шӯъба	шӯъла
эзор	эзоҳот	эм	эҳтиёҷ	эҳтиёҷманд	эҳтиёҷот
эҷод	эҷодгар	эҷодиёт	эҷодкор	эътиқод	эътироз
юғ	юнучқа	юриш	якшанбе	яра	яроқ
ятим	бистар				

Количество слов – 1382

Проект "Ибора" © 2018-2020 Навруз Мадибрагимов.
На сайте нет нецензурных слов

Рисунок 5 – Страница слов – основ существительных таджикского языка

Словоформы существительных в таджикском языке, особенно словосочетательные словоформы, могут образовываться в большом количестве. В таблице 2 приведена статистика, полученная в результате генерации словоформ с помощью описанного интернет-приложения.

Таблица 2 – Количество словоформ существительного

№	Тип формообразования	Количество словоформ одного слова
1	N 1.1	1265
2	N 1.2	1355
3	N 2.1	1266
4	N 2.2	1356
5	N 2.3	1356
6	N 2.4	1356
7	N 3.1	1265
8	N 3.2	1355
9	N 4.1	1265
10	N 4.2	1266
11	N 5.1	1266
12	N 5.2	1356

Таким образом, с использованием универсального метода генерации мы получили исчерпывающий перечень словосочетательных словоформ существительных таджикского языка.

Большое количество словоформ соответствует морфологии таджикского языка, однако не все из них встречаются в текстах часто. Согласно [4], словоформы с более чем 3-мя постфиксами

составляют менее 1 % из свыше 28 млн словоупотреблений, которые были исследованы в разнообразных текстах. В настоящее время в интернет-приложении решена задача генерации словоформ и продолжается реализация задачи определения форм слов.

Заключение. В ходе исследования морфологии таджикского языка были получены следующие результаты. 1. Проведен анализ морфологии таджикского языка. 2. Предложено для формализации формообразования таджикского языка использовать модель формообразования, которая применима к ЕЯ различных групп и семейств. 3. Выполнен обзор современного состояния компьютерной морфологии таджикского языка. 4. Классифицировано 1381 существительное таджикского языка. 5. Определены 5 типов формообразования слов и их 12 подтипов. Для каждого типа и подтипа выделены характерные особенности.

Выполненная классификация основ на типы ускоряет перебор основ и аффиксов на сочетаемость при генерации словоформ существительных таджикского языка в разработанном авторами интернет-приложении. Все полученные результаты генерации словоформ были проверены и одобрены специалистами по морфологии таджикского языка.

Таджикский язык и его система морфологии очень близка к языку фарси. Однако применение представленных в статье методов исследований к языку фарси осложняется использованием другой письменности (в таджикском языке применяется кириллица, а в фарси – иранская письменность).

В настоящее время продолжается исследование прилагательных и глаголов таджикского языка, результаты которого также будут опубликованы. Разработанное интернет-приложение после его дополнения средствами работы с этими частями речи в итоге должно стать частью программного комплекса для АОТ на таджикском языке. Этот комплекс должен будет послужить инструментом для обработки информации на таджикском языке и оказать помощь носителям этого языка, исследователям и другим лицам, интересующимся рассматриваемой темой.

Приложение 1 – Основные сведения о таджикском языке и его морфологии

Таджикский язык относится к индоевропейскому семейству, иранской группе и является языком флективно-аналитического типа [15]. Аналитизм замечается в имени существительном, а также в глаголах, где наряду со старыми флективными формами есть и много новых аналитических форм. Современный алфавит таджикского языка построен на основе кириллицы и содержит 35 букв [32].

Таблица 3 – Алфавит таджикского языка

Аа	Бб	Вв	Гг	Ғғ	Дд	Ее
Ёё	Жж	Зз	Ии	Йй	Йй	Кк
Ққ	Лл	Мм	Нн	Оо	Пп	Рр
Сс	Тт	Уу	Ўў	Фф	Хх	Ҳх
Чч	Ҷҷ	Шш	Ъъ	Ээ	Юю	Яя

Таблица 4 – Буквы, не входящие в русский алфавит

Описание	Г с палочкой	И с макроном	К выносное	У с макроном	Х выносное	Ч выносное
Буква	Ғ	Ӣ	Қ	Ӯ	Ҳ	Ҷ
Фонема	[ɣ]	[i]	[q]	[ø]	[h]	[dʒ]

Морфология таджикского языка произошла от морфологической системы древнеиранского языка, но сейчас она отличается значительно. В существительных таджикского языка нет понятий падежных склонений. Падежные отношения синтаксически передаются порядком слов в предложении и согласованием, изафетной конструкцией, а также сочетанием с предлогами и послелогами (частями слова, добавляемыми после основы). Одним из основных средств связи слов в предложении служит изафет – особый безударный показатель [15]. Например:

«Агар кас гузаштаи аҷдоди худро надонад, инсонӣ комил нест!» [31]

(Если человек не знает прошлого своих предков, он не идеальный человек!)

Агар кас гузашта[и](изафет) аҷдод [и](изафет) худ[ро](послелог) (предлог)[на]дон[ад](послелог), инсон[и](изафет) комил нест!

В таджикском языке нет категории грамматического рода и нет определенных артиклей, но существуют изменения слов по лицам и числам. Все слова по умолчанию в основном обозначают лиц мужского рода. Когда требуется показать принадлежность к женскому роду, то основные слова сопровождаются вспомогательными словами «зан» или «духтар» (девушка или женщина) [17].

Имеет место отметить, что есть так называемый неопределенный артикль *як* (один) и *-е*. Артикль *як* используется перед существительным, а второй добавляется к существительному как послелог или суффикс. Прямое дополнение излагается с помощью суффикса *-ро*, пример: *Тимурро дидам* (Я увидел Тимура). Следует отметить, что для существительных таджикского языка в единственном числе характерен один признак, а для множественного числа – два признака. Существительные во множественном числе создаются с помощью суффиксов *-ҳо* или *-он* (*-ён*, *-гон*, *-вон*).

В литературном таджикском языке есть морфологические свойственности, присущие арабским словам. Поэтому в таджикском языке одно слово может иметь два разных вида множественного числа. Например: *дарахтҳо*=*дарахтон* (деревья); *нависандаҳо*=*нависандагон* (писатели).

Глаголы тоже не разделяются на роды и не имеют явно выраженного вида. Для того чтобы выразить подобные категории, в предложениях необходимо менять порядок слов с помощью предлогов, послелогов, изафета и глаголов-связок.

Существуют два основных времени в простых глаголах: прошедшее и настоящее. Например: *рондан* (водить) – *ронд* (прошедшее время), *рон* (настоящее время). Некоторые простые глаголы супплетивны, это значит, подобно неправильным глаголам английского языка, один и тот же простой глагол может быть написан и озвучен по-разному. Например: *омадан* (прийти) – *омад* (прошедшее время), *биё* (настоящее время).

В таджикском языке есть совершенный и несовершенный вид глаголов, которые получают префиксацией. Оба вида глаголов могут встречаться в трех временах: настоящем, прошедшем и предположительном прошедшем. Существует так называемый аорист – это тип прошедшего времени. Также есть четыре наклонения: изъявительное, сослагательное, повелительное и предположительное. Но при этом есть особое аудитивное наклонение, которое еще называется неочевидным [15].

Существует активный и пассивный залог. Для создания пассивного залога необходимо использовать вспомогательный глагол *шудан* (становиться) и деепричастия прошедшего времени основного глагола. В предложениях глаголы согласуются с подлежащим в лице и числе. Когда встречается сочетание существительного и глагола, получают сложные глаголы.

В таджикском языке есть определенный порядок:

подлежащее – дополнение – сказуемое.

В изафетном сочетании определение встречается после определяемого слова [15]. Пример:

Мо себ[и] сурх дорем. (У нас есть красное яблоко.)

Себ – яблоко, *сурх* – красное, *себи сурх* – красное яблоко.

Прилагательные в предложениях могут играть роль обстоятельства, также дополнения, объясняя значение существительных и глаголов. Отсюда следует что, одно и то же прилагательное в предложениях может обозначать разные смыслы в зависимости от контекста. Например, «*нав*» может переводиться на русский язык как «новый» или «только что», а слово «*нагз*» – «хороший» или «хорошо».

Отличительные особенности таджикского языка на морфологическом уровне:

- неизменность (как правило) корня или основы при словообразовании;
- многоуровневость аффиксации (до 3 уровней префиксов и до 8 уровней постфиксов: *бар-на-ме-гардам*, *хоҳ-иш-манд-тар-ин-ҳо-яшон-ро-ву*);
- возможность внутриязыкового представления некоторых флексивных форм в более аналитической форме;
- невозможность присутствия более одной согласной фонемы.

Использование (учет) этих особенностей позволяет выявить ряд неточностей в графике, фонетике и морфологии таджикского языка [7]. Также эти особенности помогут упростить сложности в процессе АОТ на таджикском языке. Сложность таджикского языка с позиции АОТ проявляется, к примеру, при генерации словоформ, в связи с необходимостью учета многоуровневости аффиксации и большого числа аффиксов.

Приложение 2 – Обзор исследований в области автоматической обработки текстов на таджикском языке на морфологическом уровне

Автоматизация морфологического анализа таджикских словоформ находит свое начало исследований в 1990 году. З.Д. Усманов и М.А. Исмоилов обозревали принципы распознавания словоформ на таджикском языке и элементов баз префиксов и постфиксов, с помощью которых создаются данные формы слов [25, 26].

М.А. Исмоилов в своих трудах [6, 7] описал концептуальную модель и изложил основы, как автоматизировать морфологический анализ словоформ таджикского языка. В этих работах проблема рассмотрена комплексно с позиции системного анализа.

Ф.А. Абдуллаев поднимал проблему об экспертном морфоанализе для форм слов таджикского языка, которые могут содержать в себе много корней [1]. Л.А. Гращенко разработал программу автоматической конверсии таджикско-персидского письма, в рамках которого предлагает морфологические представления словоформ [3]. Его новый подход заключается в том, что он подвергает таджикские заимствованные слова морфологическому анализу, учитывая морфологические основы других языков, из которых были заимствованы эти слова.

Р.М. Исмоилова изучила словоформы, образующиеся из существительных, прилагательных и числительных. Она предлагает представить словоформы в виде фрагментов предложений, близких к ним по значению [8]. Р.С. Назаров сделал вклад по расширению базы префиксов и постфиксов. Он также исследовал присоединение аффиксов к основам слов частей речи [16].

Д.Д. Собиров предложил метод и алгоритм распознавания глаголов в предложениях таджикского языка [25]. Его предложенный метод основывается на модельном алгоритме, объясняющем способ распознавания глагольных конструкций в предложениях таджикского языка. «В качестве глагольной конструкции в таджикском языке выступают простой глагол, сложно-именный глагол, сложно-деепричастный глагол и составной глагол или сочетание глагола с другими частями речи» [14]. В работе Д.Д. Собирова изучается распознавание простых и сложных глаголов. Он предложил теоретическую процедуру, которая любую словоформу таджикского языка разделяет на корни и аффиксы, а также определяет части речи. В итоге его исследований глаголов и глагольных конструкций была собрана исчерпывающая база глагольных постфиксов.

В своей диссертации [4] Г.М. Довудов исследует решение проблемы автоматического анализа таджикских словоформ. Этот труд основан на тщательном описании базы префиксов, постфиксов и слов – основ таджикских словоформ, по возможности исчерпывающим образом. Он выдвинул алгоритм, который объясняет автоматическое распознавание морфов в таджикских словоформах. В результате своих исследований Г.М. Довудов разработал «полуавтоматический морфоанализатор» [4], который основывается на базе морфов, состоящей из 81 префикса, 76 539 корней и 128 760 постфиксов.

В итоге анализа исследований по компьютерной морфологии таджикского языка сделан вывод о том, что многие работы по этой тематике охватывают автоматизацию отдельных особенностей или разделов морфологии языка. Наиболее полными работами являются труды М.А. Исмоилова и работы Г.М. Довудова. Эти работы послужили основой для исследования, результаты которого представлены в данной статье.

Библиографический список

1. Абдуллоев Ф. А. Моделирование процесса морфологического анализа многокоренных слов таджикского языка / Ф. А. Абдуллоев // Доклады АН РТ. – 2000. – Т. 43, № 4. – С. 4–7.
2. Арзуманов С. Д. Таджикский язык / С. Д. Арзуманов, А. Сангинов. – Душанбе : Маориф, 1988. – 416 с.
3. Гращенко Л. А. Математические основы автоматизированной таджикско-персидской конверсии графических систем письма : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18 / Л. А. Гращенко. – Душанбе, 2010. – 115 с.
4. Довудов Г. М. Компьютерный морфологический анализ таджикских словоформ : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11: защищена 06.04.18 / Гулшан Мирбахоевич Довудов. – Душанбе, 2018. – 161 с.
5. Загоруйко Ю. А. Искусственный интеллект. Инженерия знаний : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Загоруйко, Г. Б. Загоруйко. – Москва : Юрайт, 2018. – 93 с.
6. Исмоилов М. А. Математическая модель морфологического анализа и синтеза слов таджикского языка / М. А. Исмоилов // Доклады АН РТ. – 1998. – Т. 41, № 9. – С. 63–68.
7. Исмоилов М. А. Основы автоматизированного морфологического анализа слов таджикского языка / М. А. Исмоилов. – Душанбе : ПИО НПИЦентр, 1994. – 156 с.
8. Исмоилова Р. М. К вопросу автоматизации морфологического анализа словоформ таджикского языка, образованных из имен числительных / Р. М. Исмоилова // Доклады АН РТ. – 1990. – Т. 33, № 10. – С. 652–655.
9. Карасев И. В. Системы машинного перевода / И. В. Карасев, Е. А. Артюшина // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 117–118.
10. Ковалев С. С. Современные методы защиты от нежелательных почтовых рассылок / С. С. Ковалев, М. Г. Шишаев // Труды Кольского научного центра РАН. – 2011.
11. Косимов А. А. Разработка основ автоматической системы распознавания автора незнакомого текста : дис. ... канд. тех. наук: 05.13.11 / Абдунаби Абдурауфович Косимов. – Душанбе, 2018. – 104 с.
12. Мадибрагимов Н. Ш. Автоматизация морфологического анализа в промышленных системах обработки текстов / Н. Ш. Мадибрагимов // Современные технологии в науке и образовании – СТНО – 2020 : сб. тр. Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 10 т. – Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В.Ф. Уткина, 2020. – Т. 4. – С. 34–38.
13. Мадибрагимов Н. Компьютерные модели формообразования слов и их применение для описания морфологии таджикского языка / Н. Мадибрагимов // Современные технологии в науке и образовании – СТНО – 2018 : сб. тр. Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 10 т. / под общ. ред. О. В. Миловзорова. – Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018. – Т. 1. – С. 65–68.

14. Мадибрагимов Н. Ш. Современные тенденции развития автоматического морфологического анализа таджикских словоформ / Н. Ш. Мадибрагимов // Современные технологии в науке и образовании – СТНО – 2019 : сб. тр. Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : в 10 т. / под общ. ред. О. В. Миловзорова. – Рязань : Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019. – Т. 4. – С. 12–15.
15. Махадов М. Самоучитель таджикского языка / М. Махадов. – Душанбе : Маориф, 1993. – 271 с.
16. Назаров Р. С. О множестве префиксов таджикского литературного языка / Р. С. Назаров // Доклады АН РТ. – 2006. – Т. 49, № 3. – С. 221–225.
17. Ниязмухаммадов Б. Морфология таджикского языка. На таджикском языке / Б. Ниязмухаммадов, Л. Бузург-зода. – Сталинабад : Таджикгосиздат, 1941.
18. Пиотровский Р. Г. Текст, машина, человек / Р. Г. Пиотровский. – Ленинград : Наука, 1975. – 327 с.
19. Правиков А. А. Разработка рекомендательной системы с естественно-языковым интерфейсом на основе математических моделей семантических объектов / А. А. Правиков, В. А. Фомичев // Бизнес-информатика. – 2010. – № 4 (14). – С. 3–11.
20. Пруцков А. В. Алгебраическое представление модели формообразования естественных языков / А. В. Пруцков // Cloud of Science. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 88–97.
21. Пруцков А. В. Генерация и определения форм слов естественных языков на основе их последовательных преобразований / А. В. Пруцков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2009. – № 27. – С. 51–58.
22. Пруцков А. В. Задачи автоматической обработки текста на естественных языках и возможные математические подходы к их решению / А. В. Пруцков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 1 (55). – С. 81–86.
23. Пруцков А. В. Модели, методы и программы автоматической обработки форм слов в естественно-языковых интерфейсах : дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.11 / Александр Викторович Пруцков. – Рязань, 2015. – 279 с.
24. Пруцков А. В. Методы морфологической обработки текстов / А. В. Пруцков, А. К. Розанов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 119–133.
25. Собиров Д. Д. Метод и алгоритм распознавания глаголов в предложениях таджикского языка / Д. Д. Собиров // Доклады АН РТ. – 2012. – Т. 55, № 2. – С. 120–125.
26. Усманов З. Д. Автоматическое распознавание элементов таджикского словаря, порождающих задание словоформы / З. Д. Усманов, М. А. Исмоилов // Доклады АН РТ. – 1990. – Т. 33, № 11. – С. 725–728.
27. Усманов З. Д. Концепция автоматического распознавания словоформ таджикского языка / З. Д. Усманов, М. А. Исмоилов // Доклады АН РТ. – 1990. – Т. 33, № 1. – С. 16–18.
28. Худойбердиев Х. А. Разработка параллельного корпуса таджикского и русского языков / Х. А. Худойбердиев, О. М. Солиев, П. А. Солиев // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2019.
29. Языкознание. Бол. энцикл. словарь / гл. ред. В. Н. Ярцева. – 2-е изд. – Москва : Бол. рос. энцикл., 1998. – 685 с.
30. Якубовский К. И. Обзор современных лингвистических технологий и систем / К. И. Якубовский, К. А. Якубовская // Вестник МГУП имени Ивана Федорова. – 2015. – № 2. – С. 315–319.
31. Фафуров Б. Ф. Точикон: Таърихи кадимтарин, кадим, асрҳои миёна ва давраи нав / Б. Ф. Фафуров. – Душанбе : Дониш, 2008. – 870 сах.
32. Perry J. R. A Tajik Persian Reference Grammar / J. R. Perry. – Boston : Brill, 2005.
33. Prutskov A. V. Algorithmic Provision of a Universal Method for Word-Form Generation and Recognition / A. V. Prutskov // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2011. – Vol. 45, № 5. – P. 232–238.
34. Tang X. English Morphological Analysis with Machine-learned Rules / X. Tang // Proceedings of the 20th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation. – 2006. – Y06-1005. – P. 35–41.

References

1. Abdulloev F. A. Modelirovaniye protsessa morfologicheskogo analiza mnogokorenykh slov tadzhikskogo yazyka [Modeling the process of morphological analysis of multicore words of the Tajik language]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences]. Dushanbe, 2000, vol. 43, no 4, pp. 4–7.
2. Arzumanov S. D., Sanginov A. *Tadzhikskiy yazyk* [Tajik language]. Dushanbe, Maorif Publ., 1988. 416 p.
3. Grashchenko L. A. *Matematicheskiye osnovy avtomatizirovannoy tadzhiksko-persidskoy konversii graficheskikh sistem pisma* [Mathematical foundations of the automated Tajik-Persian version of graphic writing systems]. Dushanbe, 2010. 115 p.
4. Dovudov G. M. *Kompyuternyy morfologicheskyy analiz tadzhikskikh slovoform* [Computer morphological analysis of Tajik word forms]. Dushanbe, 2018. 161 p.
5. Zagorulko Yu. A., Zagorulko G. B. *Iskusstvennyy intellekt. Inzheneriya znaniy : uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Artificial Intelligence. Knowledge Engineering : textbook manual]. Moscow, Yurayt Publ., 2018. 93 p.
6. Ismoilov M. A. Matematicheskaya model morfologicheskogo analiza i sinteza slov tadzhikskogo yazyka [Mathematical model of morphological analysis and synthesis of Tajik language words]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences]. Dushanbe, 1998, vol. 41, no 9, pp. 63–68.
7. Ismoilov M. A. *Osnovy avtomatizirovannogo morfologicheskogo analiza slov tadzhikskogo yazyka* [Fundamentals of automated morphological analysis of the words of the Tajik language]. Dushanbe, 1994. 156 p.
8. Ismoilova R. M. K voprosu avtomatizatsii morfologicheskogo analiza slovoform tadzhikskogo yazyka, obrazovannykh iz imennykh chislitelnykh [On the issue of automation of morphological analysis of word forms of the Tajik language, formed from nominal numerals]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences]. Dushanbe, 1990, vol. 33, no 10, pp. 652–655.
9. Karasev I. V., Artyushina Ye. A. *Sistemy mashinnogo perevoda* [Machine translation systems]. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya* [Successes of Modern Natural Science], 2011, no 7, pp. 117–118.

10. Kovalev S. S., Shishayev M. G. Sovremennyye metody zashchity ot nezhelatelnykh pochtovykh rassyllok [Modern methods of protection against unwanted mailings]. *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences], 2011.
11. Kosimov A. b. A. *Razrabotka osnov avtomaticheskoy sistemy raspoznavaniya avtora neznakomogo teksta* [Development of the basis of an automatic recognition system for the author of an unfamiliar text]. Dushanbe, 2018. 104 p.
12. Madibragimov N. Sh. Avtomatizatsiya morfologicheskogo analiza v promyshlennyykh sistemakh obrabotki tekстов [Automation of morphological analysis in industrial text processing systems]. *Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO – 2020* [Modern technologies in science and education – STNO – 2020]. Ryazan, 2020. pp. 34–38.
13. Madibragimov N. Kompyuternyye modeli formoobrazovaniya slov i ikh primeneniye dlya opisaniya morfologii tadzhikskogo yazyka [Computer models of morphogenesis of words, and their application for description of Tajik language morphology]. *Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO – 2018* [Modern technologies in science and education – STNO – 2018]. Ryazan, 2018, pp. 65–68.
14. Madibragimov N. Sh. *Sovremennyye tendentsii razvitiya avtomaticheskogo morfologicheskogo analiza tadzhikskikh slovoform* [Modern trends in the development of automatic morphological analysis of Tajik word forms]. *Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO – 2019* [Modern technologies in science and education – STNO – 2019]. Ryazan, 2019. pp. 12–15.
15. Makhadov M. *Samouchitel tadzhikskogo yazyka* [The self-learning manual of the Tajik language]. Dushanbe, Maorif Publ., 1993.
16. Nazarov R. S. O mnozhestve prefiksov tadzhikskogo literaturnogo yazyka [On the opinion of the prefixes of the Tajik literary language]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences]. Dushanbe, 2006, vol. 49, no 3, pp. 221–225.
17. Niyazmukhammadov B., Buzurg-zoda L. *Morfologiya tadzhikskogo yazyka. Na tadzhikskom yazyke* [Morphology of the Tajik language. In Tajik language]. Stalinabad, Tadzhikgosizdat Publ., 1941.
18. Piotrovskiy R. G. *Tekst, mashina, chelovek* [Text, machine, human]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 327 p.
19. Pravikov A. A., Fomichev V. A. Razrabotka rekomendatsionnoy sistemy s yestestvenno-yazykovym interfeysom na osnove matematicheskikh modeley semanticheskikh obektov [Development of a recommendation system with a local-language interface based on mathematical models of semantic objects]. *Biznes-informatika* [Business Informatics], 2010, no. 4 (14), pp. 3–11.
20. Prutskov A. V. Algebraicheskoye predstavleniye modeli formoobrazovaniya yestestvennykh yazykov [Algebraic representation of the morphogenesis model of natural languages]. *Cloud of Science*, 2014, vol. 1, no 1, pp. 88–97.
21. Prutskov A. V. Generatsiya i opredeleniya form slov yestestvennykh yazykov na osnove ikh posledovatelnykh preobrazovaniy [Generation and definition of word forms of natural languages based on their successive transformations]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University], 2009, no. 27, pp. 51–58.
22. Prutskov A. V. Zadachi avtomaticheskoy obrabotki teksta na yestestvennykh yazykakh i vozmozhnyye matematicheskiye podkhody k ikh resheniyam [Tasks of automatic text processing in natural languages and possible mathematical approaches to their solutions]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University]. 2016, no. 1 (55), pp. 81–86.
23. Prutskov A. V. *Modeli, metody i programmy avtomaticheskoy obrabotki form slov v yestestvenno-yazykovykh interfeysakh* [Models, methods and programs for automatic processing of word forms in natural language interfaces]. Ryazan, 2015. 279 p.
24. Prutskov A. V., Rozanov A. K. Metody morfologicheskoy obrabotki tekстов [Methods of morphological word processing]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 119–133.
25. Sobirov D. D. Metod i algoritm raspoznavaniya glagolov v predlozheniyakh tadzhikskogo yazyka [Verb recognition method and algorithm in sentences of the Tajik language]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences], 2012, vol. 55, no. 2, pp. 120–125.
26. Usmanov Z. D. Avtomaticheskoye raspoznavaniye elementov tadzhikskogo slovary, porozhdayushchikh zadaniye slovoformy [Automatic recognition of Tajik vocabulary elements generating the word form task]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences], 1990, vol. 33, no. 11, pp. 725–728.
27. Usmanov Z. D. Kontseptsiya avtomaticheskogo raspoznavaniya slovoform tadzhikskogo yazyka [The concept of automatic recognition of Tajik word forms]. *Doklady AN RT* [Reports of the RT Academy of Sciences], 1990, vol. 33, no. 1, pp. 16–18.
28. Khudoyberdiyev Kh. A., Soliev O. M., Soliev P. A. Razrabotka parallelnogo korpusa tadzhikskogo i russkogo yazykov [Development of a parallel corpus of Tajik and Russian languages]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh* [New information technologies in automated systems], 2019.
29. Yartseva V. N. (ed.) *Yazykoznaniye. Bolshoy entsiklopedicheskiy slovar* [Linguistics. Big Encyclopedic Dictionary]. Moscow, 1998. 685 p.
30. Yakubovskiy K. I., Yakubovskaya K. A. Obzor sovremennykh lingvisticheskikh tekhnologiy i sistem [Overview of modern linguistic technologies and systems]. *Vestnik MGUP imeni Ivana Fedorova* [Vestnik MGUP by Ivan Fedorov]. 2015, no 2, pp. 315–319.
31. Gafurov B. G. *The Tajiks: Prehistory, Ancient, and Medieval History*. Dushanbe, Donish Publ., 2008. 870 p.
32. Perry J. R. *A Tajik Persian Reference Grammar*. Boston, Brill, 2005.
33. Prutskov A. V. Algorithmic Provision of a Universal Method for Word-Form Generation and Recognition. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*, 2011, vol. 45, no. 5, pp. 232–238.
34. Tang X. English Morphological Analysis with Machine-learned Rules. *Proceedings of the 20th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation*, 2006, Y06-1005, pp. 35–41.

УДК 004.415.2.043

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БАНКРОТСТВА

Статья поступила в редакцию 07.10.2020, в окончательном варианте – 20.10.2020.

Шуриев Валерий Федорович, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16.

доктор технических наук, профессор, e-mail: v.shurshev@mail.ru

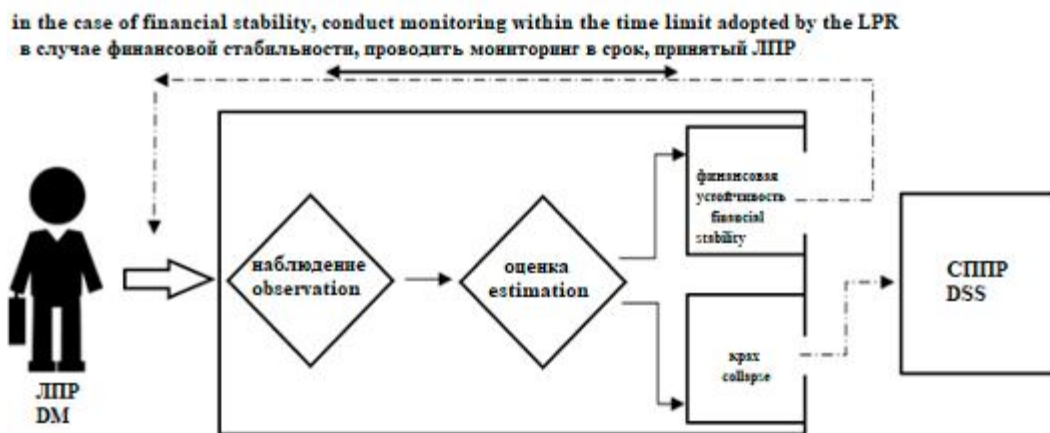
Шукуров Ильдар Исболатович, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16.

аспирант, e-mail: ildar.shukurov94@gmail.com

Была разработана концептуальная модель информационной системы мониторинга банкротства. Для доказательства необходимости разработки модели мониторинга исследуется официальная статистика банкротства юридических лиц в России за период с 2012 по 2019 г. Анализируется сопоставление этапа жизненного цикла и антикризисного управления. Приводится блок-схема модели системы мониторинга банкротства и раскрывается суть ее составляющих: модели мониторинга и системы поддержки принятия решений. Взаимодействие системы мониторинга подчеркнуто приведенным кортежем, состоящим из следующих элементов: база данных, база знаний, механизм логических выводов, пользовательский интерфейс, модуль приобретения знаний и модуль ответов и объяснений. Для разработки концептуальной модели банкротства был проведен системный анализ системы мониторинга банкротства. Система мониторинга разделена на два блока: Блок 1 – «Модель мониторинга банкротства», Блок 2 – «Система поддержки принятия решений». Изображена блок-схема системы мониторинга банкротства и схема взаимодействия элементов модели информационной системы мониторинга банкротства. Приведен простейший пример использования в системе продукционного правила с использованием финансовых показателей предприятия/организации и установленных экспертом нормативных значений, которые путем сопоставления дают итоговый искомый результат.

Ключевые слова: модель, информационные системы, системы поддержки принятия решений, мониторинг, концептуальная модель, продукционная модель, банкротство

Графическая аннотация (Graphical annotation)



DEVELOPMENT OF A CONCEPTUAL MODEL OF THE BANKRUPTCY MONITORING INFORMATION SYSTEM

The article was received by the editorial board on 07.10.2020, in the final version – 20.10.2020.

Shurshev Valery F., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Shukurov Ildar I., Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

graduate student, e-mail: ildar.shukurov94@gmail.com

A conceptual model of the bankruptcy monitoring information system was developed. To prove the need to develop a monitoring model, the official statistics of bankruptcy of legal entities in Russia for the period from 2012 to 2019 are examined. Comparison of the life cycle stage and anti-crisis management is analyzed. The block diagram of the bankruptcy monitoring system model is given and the essence of its components is revealed: the monitoring model and the decision support system. The interaction of the monitoring system is emphasized by the given tuple, which consists of the following elements: database, knowledge base, inference mechanism, user interface, knowledge acquisition module and a module of answers and explanations. To develop a conceptual model of bankruptcy, a systematic analysis of the bankruptcy monitoring system was carried out. The monitoring system is divided into two blocks: Block 1 – "Bankruptcy monitoring model", Block 2 – "Decision support system". A block diagram of a bankruptcy monitoring system and a diagram of the interaction of elements of a model of an information system for bankruptcy monitoring is shown. A simple example of using a production rule in the system using the financial indicators of an enterprise / organization and standard values established by an expert, which, by comparison, give the final desired result, is shown.

Keywords: model, information systems, decision support systems, monitoring, conceptual model, production model, bankruptcy

Введение. Современное состояние большого количества хозяйствующих субъектов характеризуется в первую очередь решением таких тактических задач, как «латание дыр», т.е. реактивная форма управления и недопущение банкротства. Подобное положение дел не позволяет достичь устойчивой работы предприятия в долгосрочной перспективе. Потому особое значение в современных условиях приобретает формирование эффективного антикризисного механизма управления организациями, основанного на анализе их финансово-экономического состояния.

По статистическим подсчетам органов Федеральной налоговой службы, количество банкротств с 2013 по 2019 г. возросло на 41,5 % (рис. 1).

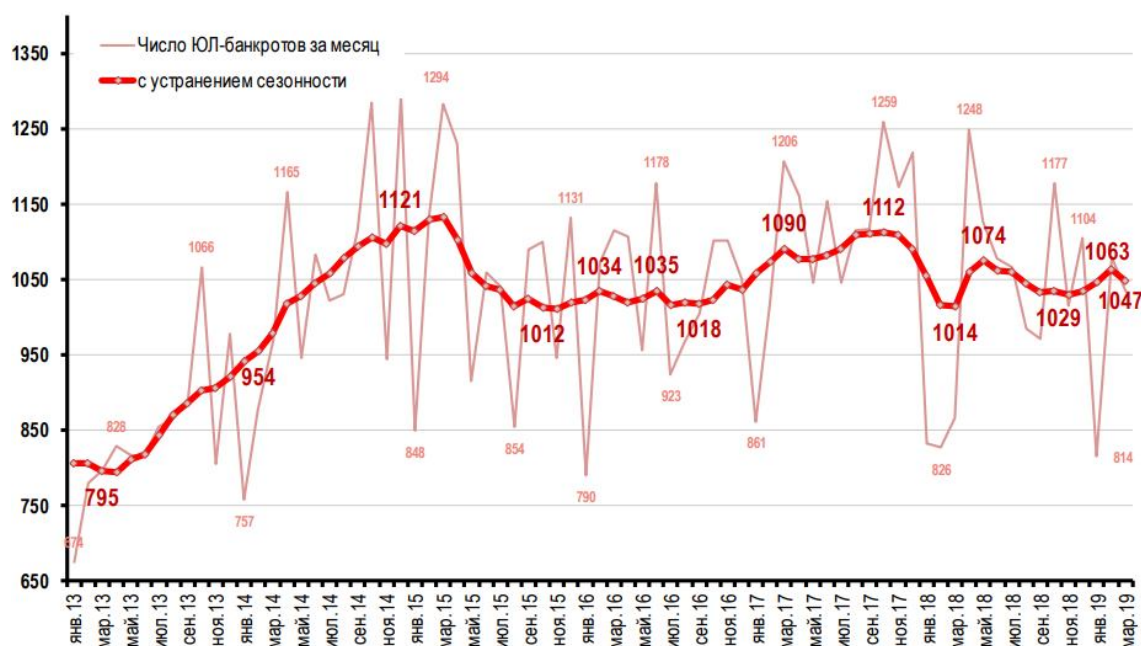


Рисунок 1 – Динамика количества банкротств в экономике России (2013–2019 гг.)

Управление системами в состоянии неравновесия и дисбаланса требует от руководителей освоения новых практических навыков предвидения и распознавания кризисов, устранения отрицательных последствий возникающих негативных факторов в любой фазе жизненного цикла предприятия.

Анализируя и сопоставляя этапы жизненного цикла [8] и антикризисного управления [1], выявлено, что:

- этапу возникновения предприятия будет соответствовать неустойчивое состояние (предкризисное и послекризисное);
- этапу становления – также неустойчивое, но с возможностью перехода в стабильное;
- этапу развития – стабильное состояние;
- этапу спада также соответствует неустойчивое состояние;
- на стадиях перестройки предприятие находится в кризисном состоянии.

В стабильном состоянии задачей является своевременность распознавания кризисных явлений в целях подготовки к возможному кризису (банкротству).

В нестабильном состоянии модель мониторинга банкротства применяет меры предотвращения и стабилизации ситуации.

В неустойчивом состоянии предприятие входит в фазу антикризисного регулирования. Применяются меры по стабилизации ситуации, предотвращению развития и углубления кризисных явлений.

В стадии кризиса функциями модели мониторинга банкротства являются обеспечение жизнедеятельности системы, минимизация отрицательных последствий и ущерба.

Целью любого предприятия является обеспечение и поддержание его стабильного состояния в долгосрочной перспективе, т.е. продление фазы стабильности.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о необходимости создания концептуальной модели информационной системы мониторинга банкротства предприятия, что и является целью данной статьи.

Тема разработки систем поддержки принятия решений является востребованной. СППР как помощник и диагност проблемы, требующей решения, используется в любой научной области. Разработке систем мониторинга и поддержки принятия решения было посвящено множество работ [3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14].

Система мониторинга и поддержки принятия решений для выхода из предбанкротного состояния. Для разработки концептуальной модели банкротства был проведен системный анализ системы мониторинга банкротства.

Система мониторинга состоит из двух блоков: Блок 1 – «Модель мониторинга банкротства» [13], Блок 2 – «Система поддержки принятия решений».

Схематично взаимосвязь между блоками можно представить в виде следующей схемы (рис. 2).

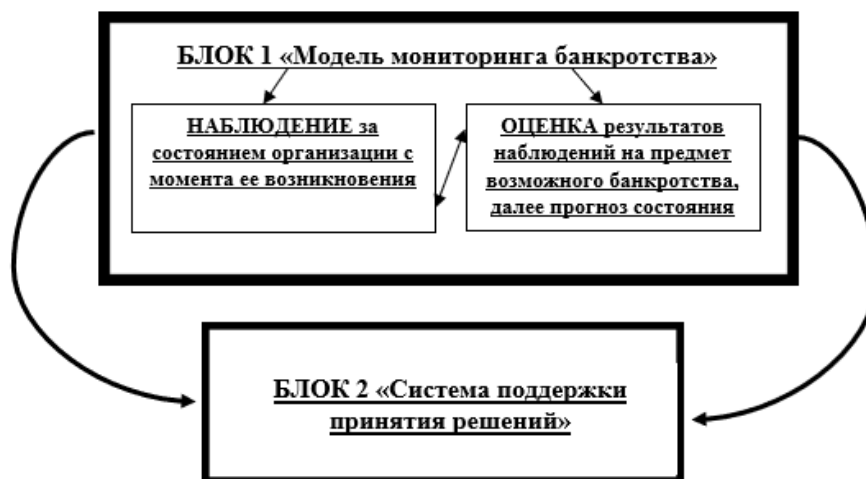


Рисунок 2 – Блок-схема системы мониторинга банкротства

Блок 1 «Мониторинг банкротства организации» [15] основан на финансовых коэффициентах, отражающих признаки финансовой несостоятельности предприятия.

Для каждого показателя (финансового коэффициента) определяется нормативное значение, по результатам оценки которых дается оценка рисков. Решение же принимается по факту сравнения фактических показателей с установленными нормативными значениями.

Блок 2 «Система поддержки принятия решений» состоит из различных элементов, которые выполняют различные функции.

Концептуальная модель информационной системы мониторинга банкротства может быть представлена в виде кортежа (рис. 3):

КМ: {БД; БЗ; МЛВ; ПИ; МПЗ; МО},

где БД – база данных; БЗ – база знаний; МЛВ – механизм логических выводов; ПИ – пользовательский интерфейс; МПЗ – модуль приобретения знаний; МО – модуль ответов и объяснений.

1. База данных (БД) предназначена для хранения исходных и промежуточных фактов диагностики проблемы банкротства. Как правило, размещается в оперативной памяти ЭВМ и отражает текущее состояние предприятия (развитие работы, спад, перестройка и т.д.) в виде фактов с коэффициентами уверенности в истинности этих фактов.

2. База знаний (БЗ) предназначена для хранения долгосрочных фактов о состоянии организации, описывающих банкротство предприятия.

3. Механизм логических выводов (МЛВ) о выходе из банкротства (МЛВ) - выполняется на основании знаний о состоянии организации, имеющихся в базе данных. Предназначен для получения новых фактов о банкротстве на основе сопоставления исходных данных из рабочей памяти и из базы знаний. Механизм логического вывода во всей структуре системы занимает наиболее важное место. Он реализует алгоритмы прямого или обратного вывода и может быть представлен в виде множества:

(МЛВ): {B; C; P; D},

где B – процедура подбора из базы знаний правил и фактов; C – процедура сравнения правил и фактов, в результате которой определяется множество фактов, к которым применимы правила для присвоения значений; P – процедура, определяющая порядок использования правил; D – процедура, заключающая в себе дальнейшую окончательную работу с проблемой на основе полученных значений.

4. Пользовательский интерфейс (ПИ) необходим для правильной передачи ответов пользователю, в противном случае использовать систему крайне неудобно.

5. Модуль приобретения знаний (МПЗ) необходим для получения знаний от эксперта, для поддержания элементов базы данных с возможностью ее дополнения при необходимости.

6. Модуль ответов и объяснений (МО) является обработчиком завершения работы системы.

7.



Рисунок 3 – Взаимодействие элементов модели информационной системы мониторинга банкротства

Продукционные правила. Для генерации знания могут быть использованы продукционные правила.

Приведем простейший пример использования данной системы и продукционного правила. Присвоить стабильному состоянию значение, равное единице («1»), при этом задать условия, если основной финансовый показатель организации:

- больше 1, то банкротство маловероятно;
- меньше 1, то исследуемый субъект получает оценку «крах» (наступление потери платежеспособности возможно в течение ближайших трех лет);
- равен 1, то принимается решение о повторном анализе данных через определенный квартал.

Если в результате деления суммы активов на сумму кредиторской задолженности получится значение от 0,5 до 1, то предприятие способно расплатиться со всеми кредиторами и выйти из кризисного положения с условием реализации активов в кратчайшие сроки.

Основное продукционное правило для системы: ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>, то есть в случае банкротства система после обработки соответствующих данных о финансовых показателях и установки нормативного значения (значение, при котором предприятие находится в стадии стабильного состояния) выводит на пользовательский интерфейс системы исходы дальнейшего существования организации.

Заключение. Мониторинг работы предприятия позволяет организовать информационную прозрачность процессов банкротства, снизить субъективность оценки экономической составляющей предприятия и на ранней стадии предупредить лицо, принимающее решение, о возможном наличии признаков преднамеренного банкротства предприятия.

Мониторингу системы банкротства подвергаются предприятия и организации, которые являются возможными или реальными банкротами. Лицо, принимающее решение, на основе полученных данных своевременно вносит данные в стратегию работы объекта.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать следующие **выводы**:

1. Разработанная концептуальная модель системы мониторинга банкротства позволит разработать информационную систему, которая предупредит недопущения краха организации.
2. Разработка информационной системы мониторинга банкротства для организаций любой отрасли является важным аспектом продуктивной и успешной работы для недопущения неожиданности краха и разрушения организации на любой стадии ее жизненного цикла.

Библиографический список

1. Казакова Н. А. Антикризисное управление : учебное пособие / Н. А. Казакова. – 2011. – С. 237.
2. Квятковская А. Е. Интеллектуальный агент и рассуждения по прецедентам как механизмы сравнительного подхода к оценке стоимости бизнеса / А. Е. Квятковская // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 112–121.
3. Шуршев В. Ф. Информационная система для поддержки принятия решений при выборе устройств / В. Ф. Шуршев, Л. В. Буй // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1 (29). – С. 208–219.
4. Квятковская И. Ю. Информационные системы управления качеством в автоматизированных и автоматических производствах / И. Ю. Квятковская, В. Ф. Шуршев. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2019.
5. Шуршев В. Ф. Критерии выбора сканирующих приемников и трансиверов / В. Ф. Шуршев, Л. В. Буй // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 63–69.
6. Квятковская И. Ю. Методологические основы поддержки принятия управленческих решений в информационном пространстве регионального кластера / И. Ю. Квятковская. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2009.
7. Берг Д. Б. Модели жизненного цикла : учебное пособие / Д. Б. Берг. – 2014. – С. 74.
8. Шуршев В. Ф. Моделирование процесса принятия решений при идентификации режимов течения смесей холодильных агентов / В. Ф. Шуршев, А. Н. Умеров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2005. – № 5 (50). – С. 27–29.
9. Шуршев В. Ф. Модель системы поддержки принятия решений на основе рассуждений по прецедентам / В. Ф. Шуршев, Г. А. Кочкин, В. Р. Кочкина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 175–183.
10. Шуршев В. Ф. Разработка производственных правил для информационной системы поддержки принятия решений на тепличном агропредприятии / В. Ф. Шуршев, Г. В. Ланшаков // V Международный Балтийский морской форум. – 2017. – С. 646–650.
11. Шуршев В. Ф. Разработка системы поддержки принятия решений для управления автоматизированной теплицей на основе производственных правил / В. Ф. Шуршев, Г. В. Ланшаков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 114–117.
12. Волик Е. О. Система поддержки принятия решений при мониторинге банкротств предприятий / Е. О. Волик. – Уфа : Уфимский государственный авиационно-технический университет, 2008.
13. Шуршев В. Ф. Модель принципов системы поддержки решений / В. Ф. Шуршев, Г. А. Кочкин, В. Р. Кочкина. – 2013. – С. 175–183.
14. Шахматова Г. Р. Информационная поддержка антикризисного управления с учетом жизненного цикла на примере мониторинга банкротств / Г. Р. Шахматова // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – № 6 (51). – С. 211–219.
15. Юсупова Н. И. Мониторинг банкротств с использованием методов интеллектуального анализа данных / Н. И. Юсупова, Е. О. Волик // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2008. – Т. 10, № 2 (27). – С. 71.

References

1. Kazakova N. A. *Antikrizisnoe upravlenie : zhebnnoe posobie* [Crisis management : eutorial], 2011, p. 237.
2. Kvyatkovskaya A. E. *Intellektualnyy agent i rassuzhdeniya po pretsedentam kak mekhanizmy sravnitel'nogo podkhoda k otsenke stoimosti biznesa* [An intelligent agent and reasoning on precedents as mechanisms of a comparative approach to assessing the value of a business]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4 (32), p. 112–121.
3. Shurshev V. F., Bui L. V. *Informatsionnaya sistema dlya podderzhki prinyatiya resheniy pri vybere ustroystv* [Information system to support decision-making in the selection of devices]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 1 (29), p. 208–219.
4. Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F. *Informatsionnye sistemy upravleniya kachestvom v avtomatizirovannykh i avtomaticheskikh proizvodstvakh* [Information systems of quality management in automated and automatic production]. Astrakhan, Astrakhan State Technical University, 2019.

5. Shurshev V. F., Buy L. V. Kriterii vybora skaniruyushchikh priemnikov i transiverov [Criteria for the selection of scanning receivers and transceivers]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2013, no. 3 (23), p. 63–69.
6. Kvyatkovskaya I. Yu. Metodologicheskie osnovy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy v informatsionnom prostranstve regionalnogo klastera [Methodological foundations for supporting management decision-making in the information space of a regional cluster]. Astrakhan, Astrakhan State University, 2009.
7. Berg D. B. *Modeli zhiznennogo tsikla : uchebnoe posobie* [Models of the life cycle : tutorial], 2014, p. 74.
8. Shurshev V. F., Umerov A. N. Modelirovanie protsessa prinyatiya resheniy pri identifikatsii rezhimov techeniya smesey kholodilnykh agentov [Modeling the decision-making process in identifying flow patterns of mixtures of refrigerants]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2005, no. 5 (50), pp. 27–29.
9. Shurshev V. F., Kochkin G., Kochkina V. Model sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na osnove rassuzhdeniy po pretsedentam [A model of a decision support system based on reasoning on precedents]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computing and Informatics], 2013, no. 2, pp. 175–183.
10. Shurshev V. F., Lanshakov G. V. Razrabotka produktsionnykh pravil dlya informatsionnoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na teplichnom agropredpriyatii [Development of production rules for an information decision support system at a greenhouse agricultural enterprise]. *V Mezhdunarodnyy Baltiyskiy morskoy forum* [V International Baltic Maritime Forum], 2017, p. 646–650.
11. Lanshakov G. V., Shurshev V. F. Razrabotka sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya upravleniya avtomatizirovannoy teplitsey na osnove produktsionnykh pravil [Development of a decision support system for managing an automated greenhouse based on production rules, in the collection]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference], 2017, pp. 114–117.
12. Volik E. O. *Sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri monitoringe bankrotstv predpriyatiy* [Decision support system for monitoring bankruptcies of enterprises]. Ufa, Ufa State Aviation Technical University, 2008.
13. Shurshev V. F., Kochkin G. A., Kochkina V. R. *Model printsipov sistemy podderzhki resheniy* [Model of the principles of a decision support system], 2013, pp. 175–183.
14. Shakhmametova G. R. Informatsionnaya podderzhka antikrizisnogo upravleniya s uchedom zhiznennogo tsikla na primere monitoringa bankrotstv [Information support of crisis management taking into account the life cycle on the example of monitoring bankruptcies]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University], 2012, no. 6 (51), pp. 211–219.
15. Yusupova N. I., Volik E. O. Monitoring bankrotstv s ispolzovaniem metodov intellektualnogo analiza dannykh [Bankruptcy monitoring using data mining methods]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University], 2008, no. 2 (27), p. 71.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.059-065

УДК 622.276.057, 656.017

РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА¹

Статья поступила в редакцию 10.09.2020, в окончательном варианте – 15.10.2020

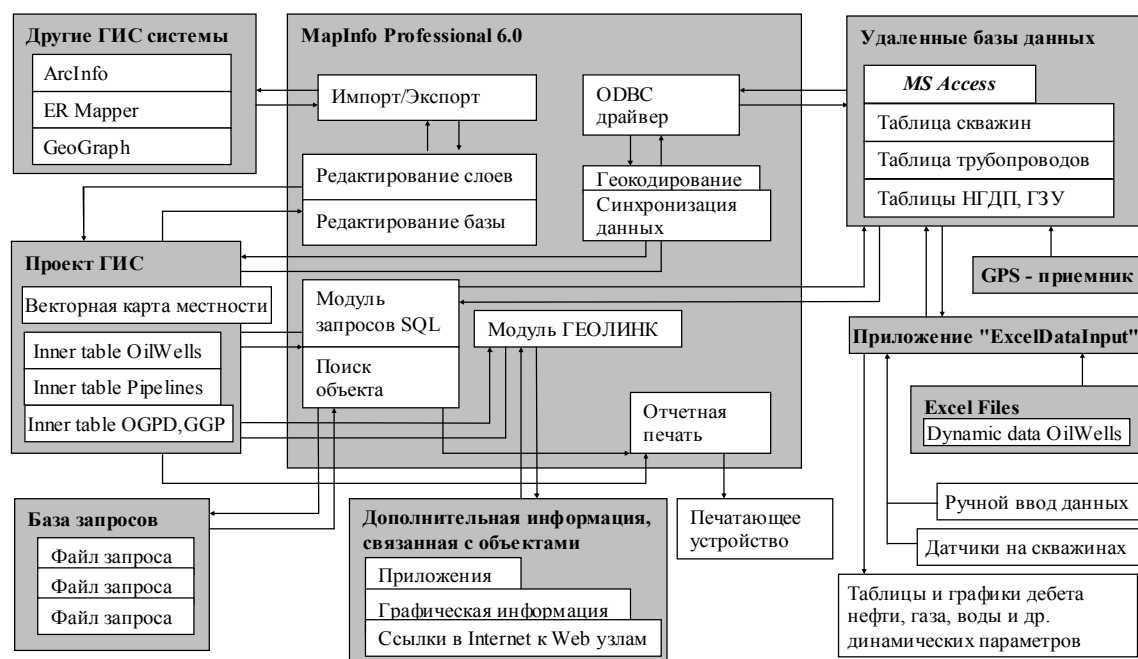
Литовка Наталья Васильевна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, старший преподаватель, e-mail: natabedakova@gmail.com

Видовская Тамара Леонидовна, ООО «Кубанская нефтегазовая компания – Ильский НПЗ», 350000, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Буденного, 117/2 директор департамента разработки и автоматизации, e-mail: tomiko@list.ru

В данной статье рассматривается геоинформационная система нефтегазодобывающего предприятия, предназначенная для комплексного мониторинга месторождения и отдельных нефтяных скважин. Для решения логистических проблем, актуальных как при эксплуатации действующих месторождений, так и при обустройстве новых площадей, предлагается доработка геоинформационной системы с применением методики оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса. Одной из перспектив комплексной геоинформационной системы, качественно повышающей эффективность применения, является использование геоинформационной системы в составе систем автоматической идентификации и объединения систем оптимального цифрового управления пространственно распределёнными динамическими объектами.

Ключевые слова: геоинформационная система, пространственно распределённый комплекс, методы размещения, алгоритм муравьиной колонии, нефтегазодобывающий комплекс

Графическая аннотация (Graphical annotation)



¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 20-010-00131 А «Повышение экономической эффективности управления на базе цифровой модели предприятия за счёт идентификации термобарометрических процессов взаимодействия с окружающей средой на примере нефтегазовых объектов».

DEVELOPMENT OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR THE LOCATION OF AN OIL AND GAS PRODUCTION COMPLEX

The article was received by the editorial board on 10.09.2020, in the final version – 15.10.2020.

Litovka Natalya V., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Senior Teacher, e-mail: natabedakova@gmail.com

Vidovskaya Tamara L., Kuban Oil and Gas Company – Ilkiy Refinery LLC, 117/2 Budenny St., Krasnodar, 350000, Russian Federation,

Director of development and automation department, e-mail: tomiko@list.ru

This article examines the geographic information system of an oil and gas production enterprise, designed for integrated monitoring of a field and individual oil wells. To solve logistical problems that are relevant both during the operation of existing fields and in the construction of new areas, it is proposed to refine the geographic information system using the method of optimal placement of objects of a spatially distributed complex. One of the promising applications of the geographic information system, which qualitatively increases the efficiency of its use, is its use as part of automatic identification systems and automated synthesis of systems for optimal digital control of spatially distributed dynamic objects.

Keywords: geographic information system, spatially distributed complex, placement methods, ant colony algorithm, oil and gas production complex

Введение. Нефтегазовые компании ищут новые способы оптимизации режимов работы объектов, производительности объектов и максимизации общей номинальной стоимости активов. Это обуславливает необходимость исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития системы нефтегазовых объектов – окружающей среды и протекающих в ней процессов с целью повышения эффективности управления с использованием современных методов обработки информации. Для решения современных сложных задач необходимы знания в разных областях, а точнее интеграция знаний. Существуют наборы больших данных и методологии, которые оптимально их объединяют. Т.е. необходимо иметь технологию, позволяющую естественным и наглядным образом проводить обработку и анализ больших данных (разнородной и распределенной информации, накопленной годами), а также выполнять визуализацию обработанных данных [9].

Для нефтяных компаний применение информационных систем (ИС), автоматизированных систем (АС) – необъемлемая часть бизнеса. ИС позволяют автоматизировать и оптимизировать бизнес-процессы компании, создают цифровую модель предприятия. Одним из видов современных ИС в настоящий момент времени является геоинформационная система (ГИС). ГИС – новый тип интегрированных ИС, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных ранее существовавших АС, с другой – обладают спецификой в организации и обработке данных. В нефтяных компаниях ГИС используют для картографической визуализации работ: поиска нефтегазовых ресурсов, планирования буровых работ при разработке скважин, определения потенциала нефтегазовых скважин. ГИС помогает визуализировать работы, а именно прокладывать трубопровод, определять местоположение перерабатывающих заводов, управлять объектами компании. ГИС необходима для анализа и накопления данных, полученных во время геологических и сейсмических исследований, аэрофотосъемки, дистанционного зондирования [1, 2, 3].

Рассматриваемая ГИС проводит комплексный мониторинг скважин, но не решает логистических проблем нефтегазодобывающих предприятий, таких как оптимальное определение местоположения нефтегазодобывающего комплекса (НГДП), групповых замерных установок (ГЗУ). Цель данной статьи – доработать существующую ГИС – добавить модуль оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса нефтегазодобывающих предприятий.

Созданная геоинформационная система обеспечивает:

- создание электронной карты района мониторинга объектов;
- выявление определяющих свойств нефтяных объектов, мониторинг которых необходимо осуществлять постоянно;
- накопление и обновление информации о нефтяных объектах в среде ГИС для дальнейшего анализа, в частности, оптимизации планирования капитальных ремонтов скважин (КРС), учета замеров параметров на скважинах;
- обслуживание внешней базы данных, синхронизацию данных в таблицах;
- выделение интересных объектов и отображение на карте с реальными координатами, что позволяет иметь правильную схему взаимного расположения скважин;
- определение реального расстояния между объектами;
- возможность масштабировать изображение карты, при этом задавать видимость объектов и их описание при различном масштабе.

ГИС разработана с помощью программы MapInfo (система, позволяющая создавать свои приложения, оцифровывать карты, составлять базы данных, работать с полученной информацией) и дополнена написанной утилитой (рис. 1 и 2).

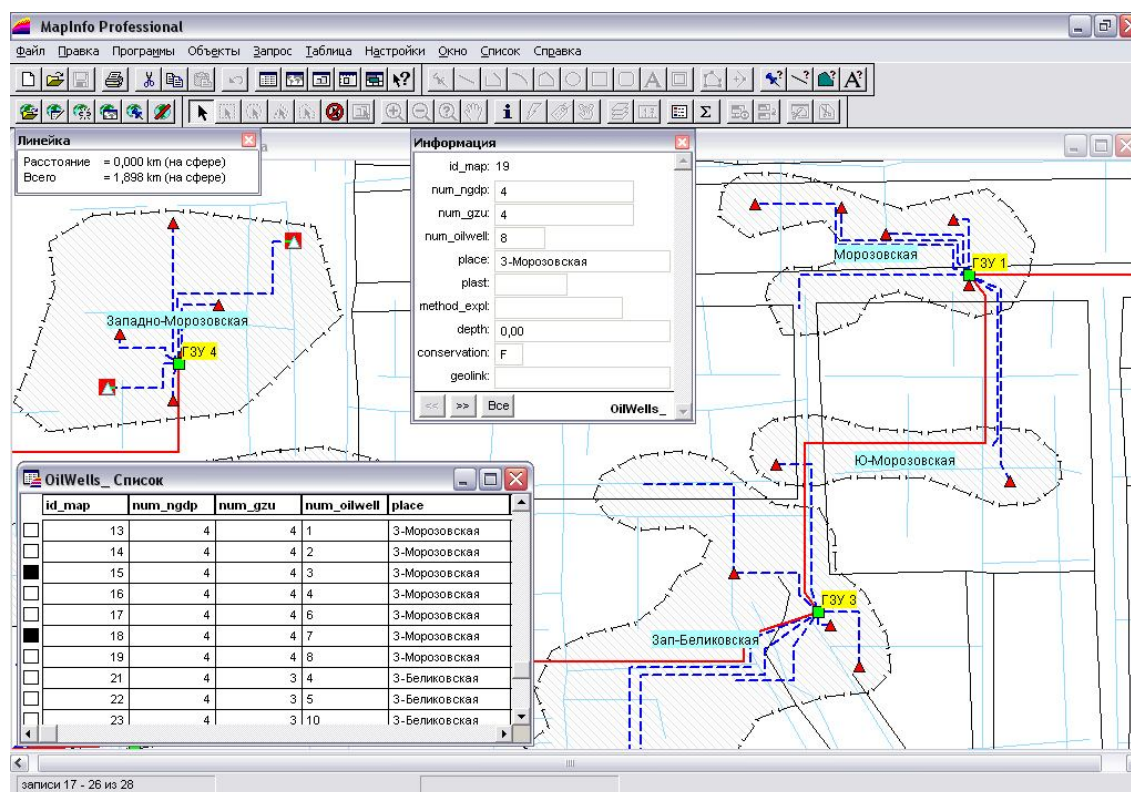


Рисунок 1 – Окно ГИС в среде MapInfo

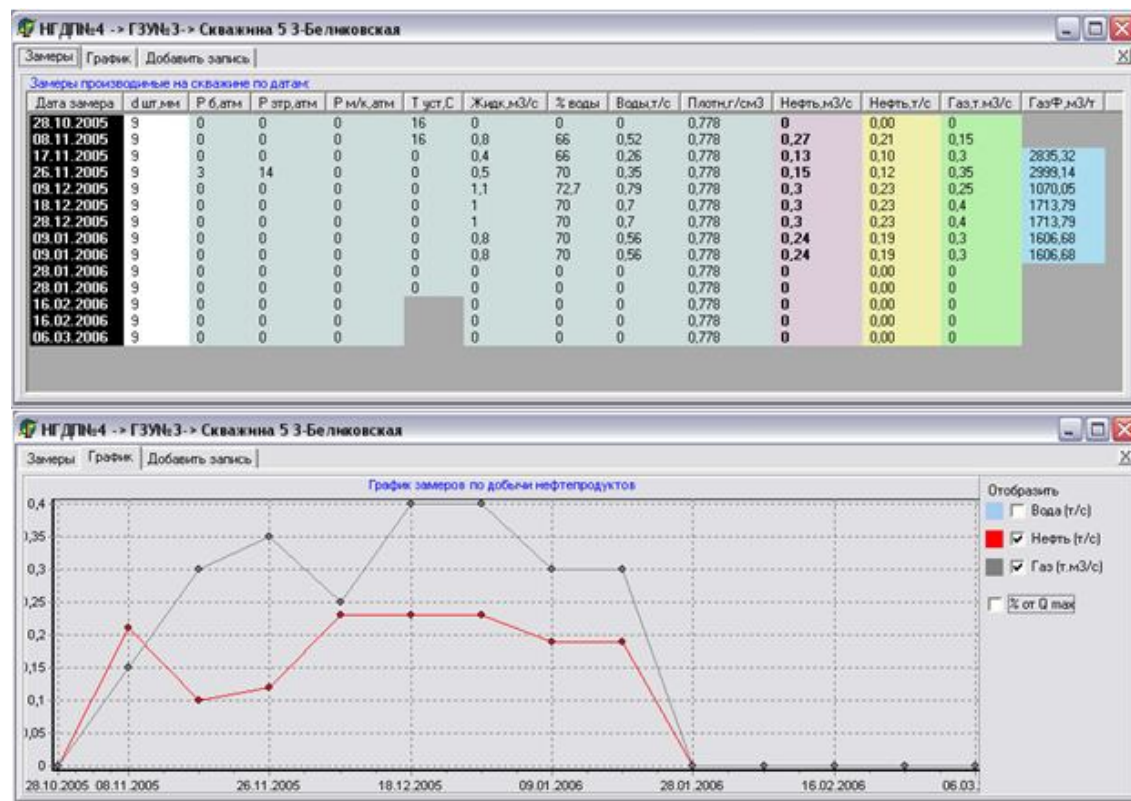


Рисунок 2 – Окна утилиты с таблицей замеров и графиком добычи

На рисунке 3 изображена логическая модель ГИС. Территориальная структура нефтяной компании подразделяется на участки, которые называются НГДП и имеют порядковый номер. На этих участках расположены ГЗУ, в которые транспортируются добытые нефтегазопродукты по трубопроводам от близости расположенных скважин. Для того чтобы контролировать добычу нефти и газа в разных местах насосной установки, операторами скважин регулярно проводятся замеры давления, температуры, дебета нефти и газа, плотности нефти и др.



Рисунок 3 – Схема связей сущностей проекта

Данная геоинформационная система отражает работу существующей конфигурации НГДП и ГЗУ. Для оптимизации логистики связей объектов и построения полной цифровой модели предприятия необходимо определить оптимальное местоположение НГДП и ГЗУ. Сейчас размещение ГЗУ или НГДП осуществляется человеком с учетом накопленного опыта, такое размещение не всегда эффективно.

Для оптимизации и автоматизации процесса размещения объектов можно использовать методику оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса на основе генетического алгоритма муравьиной колонии. Алгоритм муравьиной колонии для пространственно распределенного предприятия позволяет найти наилучший путь доставки готового продукта или сырья из распределительного центра потребителю или наоборот [5], а именно с помощью алгоритма можно найти оптимальное местоположение для групповой замерной установки по отношению к скважинам или местоположение для НГДП по отношению к ГЗУ. Обоснование выбора генетического алгоритма муравьиной колонии представлено в статье «Роевой интеллект в задачах оптимального размещения объектов пространственно распределенного предприятия» [6].

Обозначения для решения задачи размещения объектов:

m – количество мест (географически приемлемых местоположений) возможного размещения ГЗУ (НГДП);

i – номер места возможного размещения ГЗУ (НГДП), $i \in I$, $I = \{1, \dots, m\}$;

n – количество скважин для ГЗУ (число ГЗУ для НГДП);

j – номер скважины (номер ГЗУ), $j \in J$, $J = \{1, \dots, n\}$;

t_{ij} – транспортные затраты j скважины (ГЗУ), расположенной в месте i , $i \in I$, $j \in J$;

x_{ij} – затраты на строительство трубопровода от скважины (ГЗУ) j , которая обеспечивает ГЗУ (НГДП) i , $i \in I$, $j \in J$;

c_i – затраты на размещение ГЗУ (НГДП) в месте i , $i \in I$;

$z_i = \begin{cases} 1, & \text{если ГЗУ (НГДП) открыто в пункте } i; \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases}; i \in I.$

Будем придерживаться обозначений: $z = (z_i)$, $X = (x_{ij})$ $i \in I$, $j \in J$.

Для определения местоположений ГЗУ и НГДП будут разные параметры алгоритма и разные запуски.

Дано:

I – множество мест доступного размещения ГЗУ (НГДП);

$T = (t_{ij})$ – неотрицательная $(m \times n)$ матрица транспортных расходов на транспортировку газонефтепродуктов от каждого местоположения скважины до ГЗУ (от каждого ГЗУ до НГДП).

Необходимо:

Открыть ровно p ГЗУ (НГДП).

Получена задача о p -медиане в целочисленной постановке, а именно целевая функция для вычисления множества оптимальных местоположений ГЗУ (НГДП):

$$F(z, X) = \sum_{i \in I} T_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} \sum_{i \in I} x_{ij}, j \in J & (1) \\ \sum_{i \in I} z_i = p & (2) \\ z_i \geq x_{ij}, i \in I, j \in J & (3) \\ z_i \in \{0,1\}, i \in I & (4) \end{cases}$$

Первое условие (1) означает, что ГЗУ обработают газонефтепродукты от всех скважин. Второе условие (2) – это проверка на количество рабочих ГЗУ (НГДП). Неравенство (3) дает гарантии, что газонефтепродукты будут поставляться только с рабочих скважин.

Известно:

$T = (t_{ij})$ – неотрицательная $m \times n$ матрица с множеством индексов строк I и множеством индексов столбцов J ; $p \leq m$ (натуральное число p).

Для каждого непустого подмножества $I' \subseteq I$ предположим:

$$F(I') = \sum_{j \in J} \min_{i \in I'} t_{ij}. \quad (5)$$

Подзадача заключается в нахождении множества I' мощности p , при котором $F(I')$ минимально:

$$\min_{I' \subseteq I} \{F(I') : |I'| = p\}. \quad (6)$$

Решением s (допустимое решение) задачи будет булевым вектором z размерности m таким, что $z_i = 1$, если $i \in I_s$, и 0 – в противном случае, где I_s – множество работающих s ГЗУ (НГДП).

Будем использовать вектор $\alpha^k = (\alpha_i^k) i \in I$ на положительной координатной плоскости. Вектор α_i^k будет указывать уровень феромона для i -го ГЗУ (НГДП) на каждой k итерации алгоритма муравьиной колонии, $i \in I$ [4, 8].

Описание алгоритма муравьиной колонии:

Допустим:

s^k – минимальное значение целевой функции, найденное при выполнении k итерации;

z^k – булев вектор на итерации k ;

f^k – значение целевой функции (рекорд на итерации k);

$\alpha_{\min}$ – параметр, задающий минимальное возможное значение уровня феромона α_i^k для всех $i \in I$ (вещественное положительное число) [7].

Шаги алгоритма:

0. Определение начальный вектор α^1 ; рекорд $\hat{f}^1 := \infty$,

Итерация $k, k \geq 1$.

1. С помощью алгоритма искусственного муравья строим L допустимых решений.

2. Среди найденных решений выбираем l лучшие по целевой функции с помощью локального поиска.

Выбирается наилучшее местоположение ГЗУ (НГДП) из возможных привлекательных мест расположения.

3. Находим значения $\alpha^{k+1}, i \in I$.

Определяем вектор (уровень) феромона.

4. Если $f^k < \hat{f}^k$, то $\hat{f}^{k+1} = f^k$; $\hat{s}^{k+1} = s^k$;

для ненулевых компонент z^k предполагаем, что вектор феромона $\alpha_i^{k+1} = \alpha_{\min}$, иначе значение целевой функции $\hat{f}^{k+1} = \hat{f}^k$; и минимальное значение целевой функции $\hat{s}^{k+1} = \hat{s}^k$.

5. Если достигнут заданный критерий остановки, то выполнение алгоритма завершается.

Переходим на следующую итерацию: $k := k + 1$.

Вектор феромона α^{k+1} вычисляется по формуле:

$$\alpha_i^{k+1} = \frac{\alpha_{\min} + q^{\gamma_k} (\alpha_i^k - \alpha_{\min})}{\beta_k}, i \in I, \quad (7)$$

где $\beta_k \in (0,1)$ – коэффициент затухания (испарение феромона) на итерации k ;

$\gamma_i^k \in [0, 1]$ – частота совпадения ГЗУ (НГДП) i и l лучших решений, выбираемых на шаге 2 итерации k ;

Q – параметр, $q \in (0, 1)$.

Таким образом, при данных значениях параметров β_k и q чем чаще ГЗУ (НГДП) i попадает в l лучших решений по значению целевой функции, тем меньше становится соответствующее значение вектора феромона α_i , $i \in I$ [3, 7].

Ранее в статье упоминается критерий остановки работы алгоритма. Таким критерием может быть: точность к заданной нижней оценке целевой функции, один и тот же результат решения или определенное число итераций [4].

При запуске k итераций алгоритма муравьиной колонии будет определено множество $k \times p$ мест размещения ГЗУ (НГДП), и у одного или нескольких значение целевой функции будет минимальным, т.е. будут места расположения с наименьшими транспортными затратами. Места размещения с наименьшими значениями целевой функции будут предположительными локациями размещения ГЗУ (НГДП) [10, 11, 12].

По методике оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса далее применяется метод штрафных функций для нахождения наилучшего места из тех мест, которые были определены алгоритмом муравьиной колонии. Метод штрафных функций описан в работе «Метод размещения распределительных центров пространственно распределенного комплекса» [4].

Заключение. В результате геоинформационная система обеспечивает топ-менеджеров оперативной информацией по скважинам и позволяет принять решение по размещению групповых замерных установок, нефтегазодобывающих комплексов. Модуль оптимального размещения объектов нефтедобывающей промышленности позволит построить более полную цифровую модель предприятия. На современном нефтегазовом цифровом предприятии построение такой модели способствует решению актуальной проблемы интегрированного замкнутого цикла оптимизации производительности: от начальной фазы разработки месторождения до анализа различных стратегий добычи, транспорта и хранения продуктов нефтегазовой промышленности.

Библиографический список

1. Географические информационные системы в нефтегазовой промышленности // Материалы первой ежегодной специализированной конференции программных продуктов ESRI и ERDAS из нефтегазовой отрасли. – СибНАЦ, 2002. – 324 с.
2. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – Москва : Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
3. Геоинформационные системы : учебное пособие / Р. В. Ковин, Н. Г. Марков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
4. Литовка Н. В. Метод размещения распределительных центров пространственно распределенного комплекса / Н. В. Литовка // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 2 (241). – С. 59–64.
5. Литовка Н. В. Постановка основных проблем и пути их решения при размещении объектов пространственно распределенного торгового комплекса / Н. В. Литовка // Технические и технологические системы (ТТС-19) : материалы десятой Международной научной конференции. – 2019. – С. 77–81.
6. Литовка Н. В. Роевой интеллект в задачах оптимального размещения объектов пространственно распределенного предприятия / Н. В. Литовка // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 11. – С. 70–80.
7. Видовский Л. А. Методология оптимального размещения объектов торговой сети / Л. А. Видовский, Н. В. Литовка // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 154. – С. 104–118.
8. Лореш М. А. Разработка и исследование алгоритмов муравьиной колонии для решения задач оптимального размещения предприятий : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации. – Омск : ОмГУ, 2006. – 113 с.
9. SawaterInfo: Географические информационные системы (ГИС) // Картографическая информация. – Режим доступа: <http://www.sawater-info.net/bk/13-5.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 07.10.2020).
10. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – Москва : Сов. радио, 1971. – 272 с.
11. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – Москва : Физматлит, 2010. – 608 с.
12. Анализ байесовской оценки показателя надежности установок УЭЦН / Р. Я. Кучумов, А. Г. Меньшиков, С. В. Наместников и др. // Моделирование технологических процессов нефтедобычи : сб. науч. тр. – Тюмень : Вектор Бук, 2003. – Вып. 4. – С. 171–179.

References

1. Geograficheskiye informatsionnyye sistemy v neftegazovoy promyshlennosti [Geographic information systems in the oil and gas industry]. *Materialy pervoy yezhegodnoy spetsializirovannoy konferentsii programmnykh produktov ESRI i ERDAS iz neftegazovoy otrasli* [Materials of the first annual specialized conference of ESRI and ERDAS software products from the oil and gas industry]. Siberian Scientific and Analytical Center, 2002, p. 324.
2. Tsvetkov V. Ya. *Geoinformatsionnyye sistemy i tekhnologii* [Geographic information systems and technologies]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1998. 288 p.
3. Kovin R. V., Markov N. G. *Geoinformatsionnyye sistemy : uchebnoye posobiye* [Geographic information systems: a tutorial]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. 175 p.
4. Litovka N. V. Metod razmeshcheniya raspredelitelnykh tsentrov prostranstvenno raspredelennogo kompleksa [The method of placing distribution centers of a spatially distributed complex]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskiye i tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences], 2019, no. 2 (241), pp. 59–64.
5. Litovka N. V. Postanovka osnovnykh problem i puti ikh resheniya pri razmeshchenii obektov prostranstvenno raspredelennogo torgovogo kompleksa [Formulation of the main problems and ways to solve them when placing objects of a spatially distributed shopping complex]. *Tekhnicheskiye i tekhnologicheskkiye sistemy (TTS-19) : materialy desyatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Technical and technological systems (TTS-19) : materials of the Tenth International Scientific Conference], 2019, pp. 77–81.
6. Litovka N. V. Royevoy intellekt v zadachakh optimalnogo razmeshcheniya obektov prostranstvenno raspredelennogo predpriyatiya [Swarm intelligence in the problems of optimal placement of objects of a spatially distributed enterprise]. *Nauchnyye trudy KubGTU* [Scientific Works of KubSTU], 2018, no. (11), pp. 70–80.
7. Vidovskiy L. A., Litovka N. V. Metodologiya optimalnogo razmeshcheniya obektov torgovoy seti [Methodology for the optimal placement of retail network objects]. *Politematicheskyy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2019, no. 154, pp. 104–118.
8. Loresh M. A. *Razrabotka i issledovaniye algoritmov muravinoy kolonii dlya resheniya zadach optimalnogo razmeshcheniya predpriyatiy* [Development and research of ant colony algorithms for solving problems of optimal location of enterprises]. Omsk, Omsk State University, 2006. 113 p.
9. CawaterInfo: Geograficheskiye informatsionnyye sistemy (GIS) [CawaterInfo: Geographic information systems (GIS)]. *Kartograficheskaya informatsiya* [Cartographic information]. Available at: <http://www.cawater-info.net/bk/13-5.htm> (accessed 07.10.2020).
10. Barzilovich Ye. Yu., Kashtanov V. A. *Nekotoryye matematicheskiye voprosy teorii obsluzhivaniya slozhnykh system* [Some mathematical questions in the theory of servicing complex systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1971.
11. Kashtanov V. A., Medvedev A. I. *Teoriya nadezhnosti slozhnykh system* [Reliability theory of complex systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010.
12. Kuchumov R. Ya., Menshikov A. G., Namestnikov S. V et al. Analiz bayesovskoy otsenki pokazatelya nadezhnosti ustanovok UETSU [Analysis of the Bayesian assessment of the reliability index of ESP installations]. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov nefte dobychi : sbornik nauchnykh trudov* [Modeling of technological processes of oil production : Proceedings]. Tyumen, Vector Buk Publ., 2003, issue 4, pp. 171–179.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.066-074

УДК 004.94

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ 3D-ОБЪЕКТОВ, СМОДЕЛИРОВАННЫХ В BLENDER, ДЛЯ ИМПОРТА В UNITY 3D

Статья поступила в редакцию 15.09.2020, в окончательном варианте – 18.09.2020.

Гараева Энже Ринатовна, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, магистрант, e-mail: ange0112@yandex.ru

Бикмуллина Илсияр Ильдаровна, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-0194-2687, e-mail: elsiyar-b@yandex.ru

Барков Игорь Александрович, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, 420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, доктор технических наук, профессор

При разработке игры в Unity с использованием 3D-моделей возникла необходимость создания собственных 3D-моделей, поэтому были проанализированы собственные возможности Unity на предмет создания 3D-моделей. Так как возможности Unity как среды для создания 3D-моделей ограничены, были рассмотрены сторонние программные продукты, предназначенные для моделирования 3D-объектов. В результате анализа для разработки объектов был выбран 3D-редактор Blender, в связи с чем возникла необходимость изучения особенностей импорта готовых объектов из Blender в Unity. Решение использования в Unity 3D-моделей, созданных в Blender, исходит из ограниченности возможностей Unity в сфере 3D-моделирования. Из-за чего было сформулировано руководство, в котором описано, на что необходимо обращать внимание для подготовки объектов из Blender в Unity. В данной статье приводится краткое описание профессионального инструмента для разработки 3D-моделей и игрового движка, в которое предполагается экспортирование полученных 3D-моделей, включая краткую историческую справку о них, их основные возможности, особенности, благодаря которым они выигрывают среди прочих программных продуктов, предназначенных для 3D-моделирования и создания игр, а также сведения о том, в каких областях и насколько широко данные продукты используются. Рассмотрены основные ошибки, возникающие при импорте готовых объектов, а также описаны особенности подготовки готовых моделей из Blender в Unity. Кроме того, рассмотрены причины, по которым требуется использование нескольких программных продуктов для создания полноценного продукта. Представлено описание процесса экспорта в рассматриваемом инструменте. Подробно разобран поэтапный процесс подготовки объекта к экспорту в Blender. Порядок и особенности подготовки к экспорту объектов из Blender в Unity рассмотрены на примере подготовки и экспорта смоделированной в Blender модели игрушечного медведя. Для этого был проведён детальный анализ предметной области, результаты которого представлены в данной статье в виде поэтапного описания процесса подготовки объекта к экспорту.

Ключевые слова: 3D-объекты, импорт, экспорт, 3D-модели, моделирование, Unity, Blender

FEATURES OF PREPARING 3D OBJECTS MODELED IN BLENDER FOR IMPORT INTO UNITY 3D

The article was received by the editorial board on 15.09.2020, in the final version – 18.10.2020.

Garayeva Enzhe R., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation, master's student, e-mail: ange0112@yandex.ru

Bikmullina Ilsiyyar I., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: elsiyar-b@yandex.ru

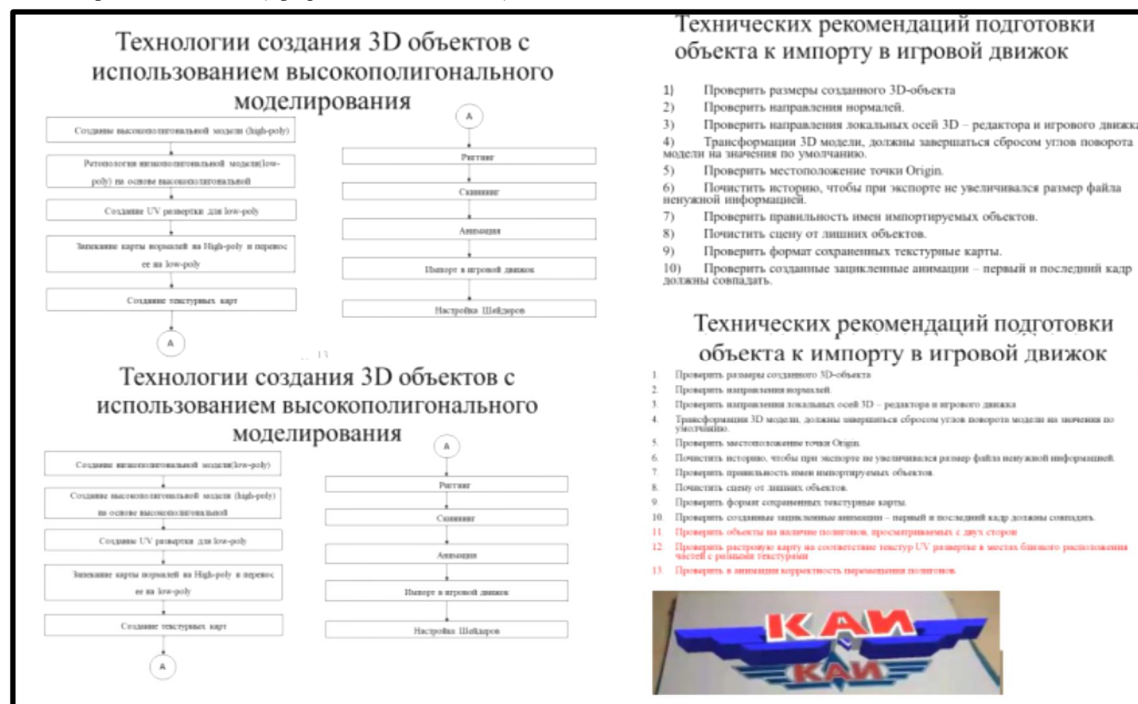
Barkov Igor A., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10 K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation, Doct. Sci. (Engineering), Professor

When developing a game in Unity using 3D models, it became necessary to create your own 3D models, so Unity's own capabilities were analyzed for creating 3D models. Since Unity's capabilities as a 3D modeling environment are limited, third-party software products designed to model 3D objects were considered. As a result of the analysis, the 3D blender editor was chosen for the development of objects, and therefore there was a need to study the features of importing finished objects from Blender to Unity. Unity's decision to use 3D models created in Blender is based on Unity's limited 3D modeling capabilities. Because of this, a guide was formulated, which describes what you need to pay attention to in order to prepare objects from Blender to Unity. This article provides a brief description of the professional tool for developing 3D models and game engine, which is supposed to export the resulting

3D models, including a brief historical background about them, their main features, features, thanks to which they win among other software products designed for 3D modeling and game creation, as well as information about what areas and how widely these products are used. The main errors that occur when importing ready-made objects are considered, as well as the features of preparing ready-made models from Blender to Unity are described. In addition, the reasons why it is necessary to use several software products to create a full-fledged product are considered. The description of the export process in the considered tool is presented. The step-by-step process of preparing an object for export to Blender is analyzed in detail. The order and features of preparation for exporting objects from Blender to Unity are considered on the example of preparation and export of a model of a toy bear modeled in Blender. For this purpose, a detailed analysis of the subject area was carried out, the results of which are presented in this article in the form of a step-by-step description of the process of preparing the object for export.

Keywords: 3D objects, import, export, 3D models, modeling, Unity, Blender

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Сегодня уровень развития информационных технологий предоставляет широкие возможности и богатый арсенал программных продуктов, языков программирования и технологий для успешного решения задач по 3D-моделированию и созданию 3D-игр и видео с использованием 3D-объектов. Одним из получивших широкое распространение программных продуктов, позволяющим легко моделировать и редактировать 3D-модели, предназначенные для использования в играх, видео, рекламе, является Blender [1].

Blender – программный продукт, предназначенный для создания 3D-визуализаций: от статичных объектов до редактирования видео, разработанный анимационной студией NeoGeo [2]. В 1995 году компания начала переписывание имеющихся у них 3D-инструментов, что стало началом создания Blender, последняя же выпущенная версия Blender 2.80 вышла на рынок в июле 2019 года. Одной из основных особенностей Blender является то, что он имеет открытый исходный код и хорошо подходит не только частным лицам, но и небольшим студиям, которые могут создавать 3D-видеоролики, имея в своем арсенале один лишь Blender. Данный продукт поддерживает такие инструменты, как рендеринг, моделирование, анимацию и перенастройку созданных объектов, композинг, текстурирование и другие типы симуляций. Также Blender предоставляет пользователю случай расширять возможности созданных моделей при помощи языка Python.

Если говорить о создании игр с использованием 3D-моделей, то хочется выделить для этих целей Unity 3D. Blender имеет свой игровой движок, однако возможности, предоставляемые Unity, являются более широкими в этом плане.

Unity – мощный межплатформенный продукт для создания компьютерных игр [3]. Он поддерживает создание игр для более чем 20 операционных систем. Первый выпуск продукта состоялся в 2005 году, последняя версия датируется апрелем 2019 года. Основным достоинством продукта является наличие визуальной среды разработки, межплатформенная поддержка и модульная

система компонентов. Unity позволяет создавать отличные игры и даже имеет свой редактор 3D-объектов, однако на сегодняшний день возможности встроенного 3D-редактора достаточно ограничены [4], поэтому требуют разработки сложных 3D-объектов в сторонних программных продуктах, таких как Blender. Unity является коммерческим продуктом для бизнеса, однако предоставляет бесплатную версию продукта для обучения. Для создания 3D-игры в Unity необязательно хорошо знать программирование, а необходимый программный код пишется на C#, при необходимости их можно скачать с AssetStore.

С учётом вышеизложенного выбор программных продуктов Blender и Unity 3D для моделирования 3D-объектов и создания компьютерной игры представляется очевидным.

Разработка технологии создания 3D-объектов с использованием высокополигонального моделирования. Если при создании объектов с помощью примитивов или экструдированием количество полигонов мы примерно можем контролировать сразу, то, как говорилось ранее, при скульптурировании количество полигонов может быть огромным, и после окончания моделирования формы объекта необходимо их количество сокращать. Таким образом, при создании объектов с использованием высокополигональной модели должен быть продуманный технологический процесс, что позволит существенно сократить сроки разработки путем уменьшения ошибок и, соответственно, временем на их исправление. Кроме того, надо понимать, что, как правило, высокополигональное моделирование используется для создания более сложных объектов, таких как персонажи, поэтому для анимирования таких объектов требуется создание скелета, по которому можно будет управлять моделью при создании анимации.

Ниже на рисунке 1 представлена схема этапов создания 3D-объекта в редакторе.

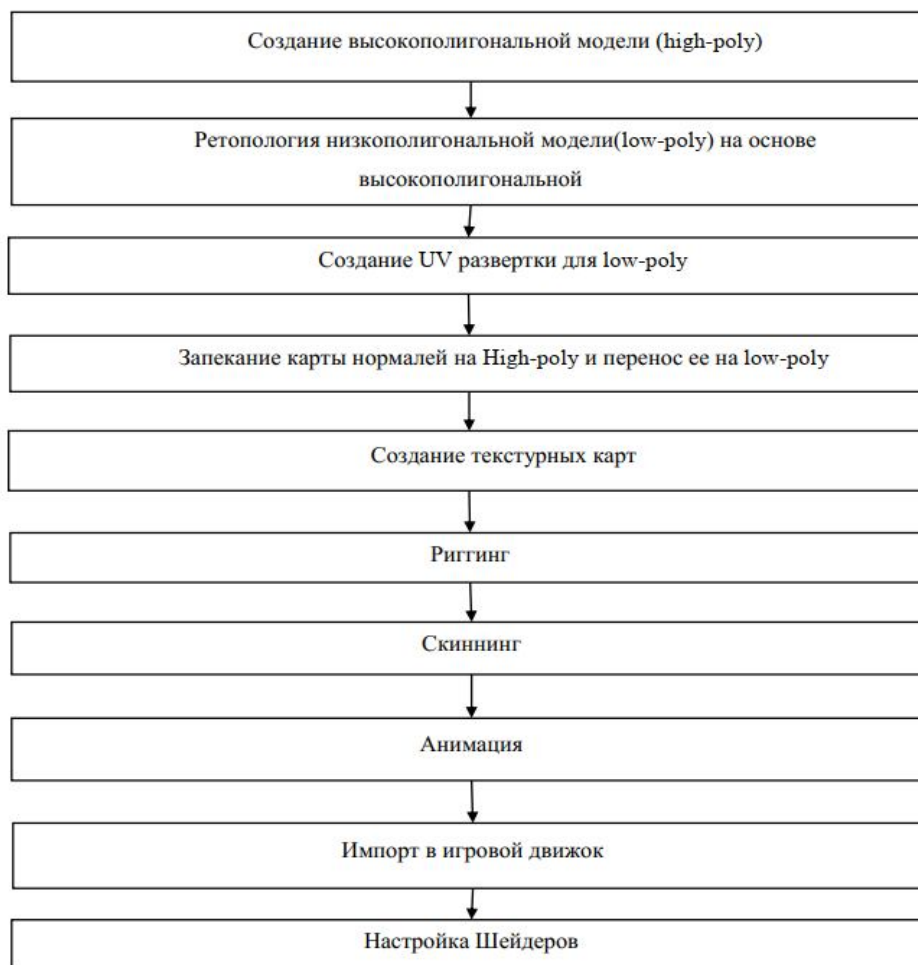


Рисунок 1 – Схема технологического процесса создания объекта

Представленная схема применима и при создании 3D-объектов с использованием только низкополигональной модели при исключении или смене местами некоторых этапов. Таким образом, местами могут быть сменены даже первые 2 пункта, этому может способствовать ряд различных факторов, например:

- 1) создание ряда 3D-объектов, имеющих сходное строение тела;
- 2) необходимость увеличения детализации и реалистичности уже имеющихся объектов.

Описание метода подготовки импорта в игровой движок. Завершающим шагом при создании 3D-объекта под проект является его импорт в среду использования. Как правило, направления осей координат, масштабы и правильная ориентация объектов в пространстве различаются в 3D-редакторе и игровом движке. Таким образом, для корректного импорта объекта в игровой движок необходимо выполнить его подготовку к экспорту из 3D-редактора в самом Blender.

Описание метода настройки шейдеров. Наложение созданных текстурных карт на объект и настройка материалов осуществляется с помощью редактора шейдеров. В Blender есть возможность создания встроенных шейдеров, в Unity для этих целей можно воспользоваться встроенными в игровой движок шейдерами или создать свои с помощью редактора шейдеров Shader Forge, который является плагином Unity. Так как Unity не поддерживает созданные процедурно текстуры из Blender, то настройку шейдером будем делать в Unity, используя заранее подготовленные текстурные карты [5].

Совместимость форматов Blender и Unity. Blender предоставляет широкие возможности для моделирования, одним из преимуществ этого программного продукта является то, что в нем собраны возможности для моделирования различными методами: это и инструменты для скульптурирования, и возможности работы со сплайнами, кривыми Безье, и полигональное моделирование. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. В результате моделирования мы получаем модель, которую можем в этом же редакторе оттекстурировать, а также задать анимацию. Полученную модель можно использовать как для создания видео или статичной картинке в самом Blender, так и экспортировать модель в другие программные продукты, где использовать для конечных целей. Например, в Unity для использования модели при создании компьютерной игры.

Unity поддерживает различные форматы для импорта 3D-моделей, включая такие частные форматы программ для моделирования, как .blend (расширение Blender), .mb (расширение Maya), .c4d (расширение Cinema 4D). Кроме того, из Blender можно экспортировать не только отдельные объекты, но и целые сцены.

Если говорить о выборе формата для экспорта, то он зависит в первую очередь от личных предпочтений моделилера. Например, форматы .FBX, .dae (Collada), .3DS, .dxf и .obj являются общими экспортируемыми 3D-форматами. Преимуществами их использования является следующее:

- такие файлы имеют меньший вес относительно файлов собственного формата 3D-редактора;
- такие файлы позволяют использовать в Unity модели, которые были созданы в программных продуктах, собственные форматы которых не поддерживаются в Unity.

Но недостатком выбора таких форматов может являться то, что при необходимости изменения модели, необходимо возвращаться к исходному файлу в собственном формате 3D-редактора.

Если использовать в Unity модели в формате частного формата (.blend), то это определенно облегчает процесс редактирования объектов, а также снижает риск потери исходного файла объекта, так как импортированный в Unity файл можно будет выгрузить в редактор. Однако такие файлы могут иметь больший вес и содержать лишние компоненты.

Но все же при экспорте объектов важным является не расширение импортируемого файла, а предварительная подготовка созданной модели.

В руководстве Unity 3D есть следующие подсказки по подготовке объектов к экспорту:

- для мешей необходимо почистить историю их построения, удалить неоднородные рациональные безъсплайны, неоднородные рационально сглаживаемые сетки, а также проверить, чтобы все полигоны являлись трех- или четырехугольными;
- текстуры должны загружаться либо из папки проекта Unity, либо из папки \textures проекта;
- также необходимо проверить необходимость групп сглаживания и/или сглаживаний мешей.

Кроме этого, в руководстве Unity есть предупреждение, что камеры и источники света в Unity импортируются некорректно.

Если говорить об экспорте объектов из Blender в Unity, то в первую очередь стоит сказать, что в Unity можно импортировать:

- все узлы с положением, вращением и масштабом. Центры вращения и имена тоже импортируются;
- меши с вершинами, полигонами, треугольниками, UV и нормальными;
- кости;

- skinned меши (меш с привязкой к костям);
- анимации.

Разработка технических рекомендаций подготовки объекта к импорту в игровой движок.

Blender предоставляет широкие возможности для моделирования, одним из преимуществ этого программного продукта является то, что в нем собраны возможности для моделирования различными методами: это и инструменты для скульптурирования, и возможности работы со сплайнами, кривыми Безье, и полигональное моделирование. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. В результате моделирования мы получаем модель, которую можем в этом же редакторе оттекстурировать, а также задать анимацию.

Перед экспортом объекта необходимо провести некоторые подготовительные работы:

1) проверить размеры созданного 3D-объекта. Необходимо учитывать, что в Blender единицы измерения по умолчанию одни, а в Unity – другие. Несомненно, размеры объекта можно подгонять и в игровом движке, однако стоит учитывать, что при уменьшении или увеличении размеров объекта могут вылезти недостатки, которые при изначальных размерах не были заметны;

2) проверить направления нормалей. Как правило, в Blender в процессе создания видны полигоны с неправильным направлением нормалей, однако их можно не заметить, если не просмотреть объект со всех сторон. Данную ошибку можно исправить в игровом движке, однако подобные методы будут ресурсозатратными, поэтому лучше проводить пересчет нормалей в 3D-редакторе;

3) проверить направления локальных осей 3D-редактора и игрового движка. Одной из главных проблем при импорте моделей является путаница осей, в которых экспортируется готовый объект. В Blender осью, направленной вверх, является ось z, а осью, определяющей направление «лица» модели (forward, перед), является ось –y. Это можно увидеть на рисунке 1, а в Unity вертикальной осью является ось y, а «передом» модели – ось z. Таким образом, для правильного экспорта в Unity 3D-модели в Blender модель должна смотреть лицом в направлении оси –y (минус y), а верхушкой – в направлении положительной оси z;

4) трансформации 3D-модели должны завершаться сбросом углов поворота модели на значения по умолчанию. Для выполнения сброса углов поворота и совмещения локальных осей 3D-модели (или оси сразу нескольких 3D-моделей) с глобальными осями координат необходимо выбрать 3D-модель в режиме объекта и нажать сочетание клавиш Ctrl+A, вызвав в открывшемся меню Apply. В этом меню необходимо выбрать пункт «Rotation». В меню Apply, помимо сброса поворота модели и всего остального, присутствует ещё и пункт сброса масштаба модели. Это связано с тем, что после масштабирования 3D-модели на сцене в режиме объекта значение параметров масштабирования также необходимо сбросить на значения по умолчанию, выбрав в упомянутом выше меню «Scale»;

5) проверить местоположение точки Origin. Для объектов, не имеющих скелета, скорее всего, точка Origin была пересчитана перед созданием им анимации, однако если речь о персонажах, то в их анимации точка Origin не принимала участия, а для правильной работы персонажа в игровом движке необходимо точку переместить на уровень ступней персонажа, таким образом персонажи будут ходить по плоскости, а не проваливаться под нее;

6) почистить историю, чтобы при экспорте не увеличивался размер файла ненужной информацией;

7) проверить правильность имен импортируемых объектов. Правильное наименование экспортированных объектов из 3D-редактора необходимо для ускорения процесса настройки объектов в игровом движке. Названия объектов следует писать на английском языке без дополнительных символов в начале (например, тире), так как списки объектов в игровых движках располагаются, как правило, в алфавитном порядке;

8) следует соблюдать чистоту сцены. Пустые или лишние скрытые объекты могут импортироваться в файл FBX вместе с объектом. В результате чего размер файла увеличится и возникнет неудобство в работе с ним в игровом движке;

9) следует сохранять текстурные карты в правильном формате. Предпочтительным форматом текстурных карт является PNG. Данный формат прост и удобен в редактировании, корректно сохраняет картинку и имеет альфа-канал. Формат PSD также поддерживается игровыми движками (автоматически сливает слои), удобен, когда текстура находится в процессе изготовления, но для использования в игровом движке следует заменить этот тяжелый многослойный формат, так как он сильно увеличивает размер проекта игры. Более подробно о чтении форматов текстур игровыми движками можно прочитать в документации к ним;

10) проверить созданные зацикленные анимации – первый и последний кадр должны совпадать. Малейшее отклонение по оси, направленной вверх, (как правило, оси Y) может привести к постепенному проваливанию или поднятию персонажа относительно плоскости в процессе игры;

11) проверить объекты на наличие полигонов, просматриваемых с двух сторон;

12) проверить растровую карту на соответствие текстур UV развертке в местах близкого расположения частей с разными текстурами;

13) проверить в анимации корректность перемещения полигонов.

Ошибки при экспорте. Ошибки в переопределении осей координат. Одной из главных проблем при импорте моделей является путаница осей, в которых экспортируется готовый объект.

В Blender осью, направленной вверх, является ось z, а осью, определяющей направление «лица» модели (forward, перед), является ось $-y$. Это можно увидеть на рисунке 2, а в Unity вертикальной осью является ось y, а «передом» модели – ось z (рис. 3).

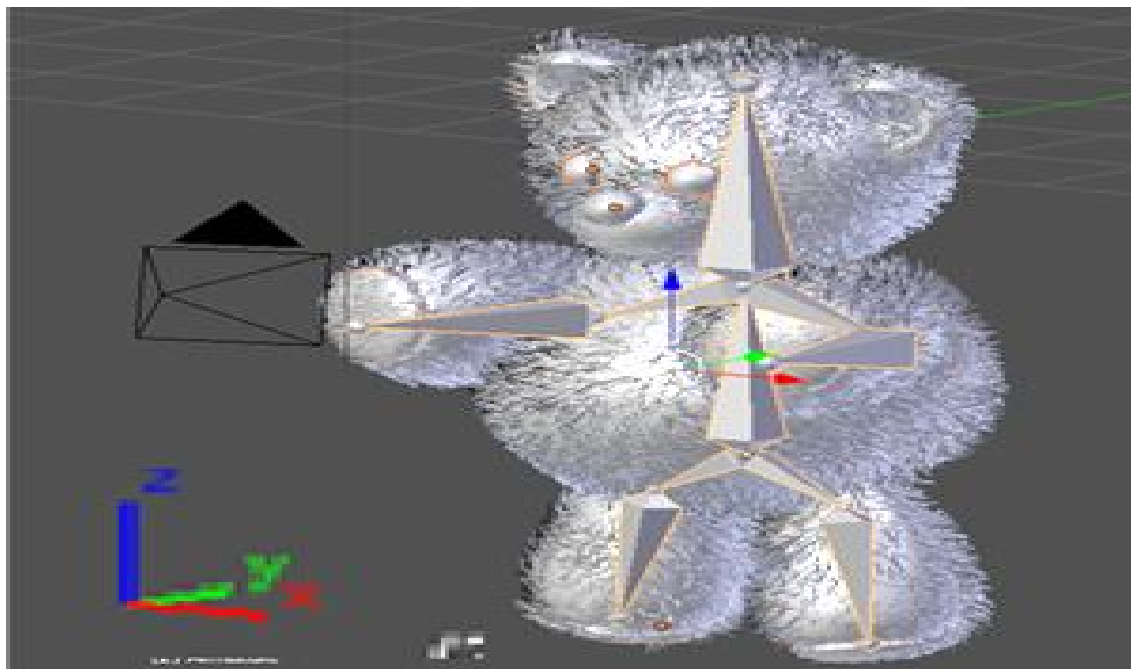


Рисунок 2 – Направления осей в Blender

Таким образом, для правильного экспорта в Unity 3D-модели в Blender модель должна смотреть лицом в направлении оси $-y$ (минус y), а верхушкой – в направлении положительной оси z.

Но и здесь есть свои нюансы, когда объект поворачивается в объектовом режиме, то изменяются направления его локальных осей. Поэтому подобные трансформации 3D-модели должны завершаться сбросом углов поворота модели на значения по умолчанию.

Для выполнения сброса углов поворота и совмещения локальных осей 3D-модели (или оси сразу нескольких 3D-моделей) с глобальными осями координат необходимо выбрать 3D-модель в режиме объекта и нажать сочетание клавиш Ctrl+A, вызвав в открывшемся меню Apply. В этом меню необходимо выбрать пункт «Rotation». В меню Apply, помимо сброса поворота модели и всего остального, присутствует ещё и пункт сброса масштаба модели. Это связано с тем, что после масштабирования 3D-модели на сцене в режиме объекта значение параметров масштабирования также необходимо сбросить на значения по умолчанию, выбрав в упомянутом выше меню «Scale».

Однако Blender, несмотря на подобные подготовки объекта, при экспорте может иметь проблемы с поворотом модели, то есть, даже проделав сброс углов и совмещение осей, может оказаться так, что в результате экспорта объекта в Unity модель будет смотреть лицом в сторону отрицательной оси y, а «верх» – в сторону z. Это связано с тем, что в настройках осей для экспортируемой модели в Blender по умолчанию стоит Forward: $-y$, Top: z, то есть оси перевернуты, и Blender предлагает в качестве «лица» модели использовать отрицательное направление оси y, а в качестве «верха» – ось z. Поэтому необходимо изменять их на систему координат Unity, выставив в настройках для осей нужные параметры, и только после этого экспортировать модель.

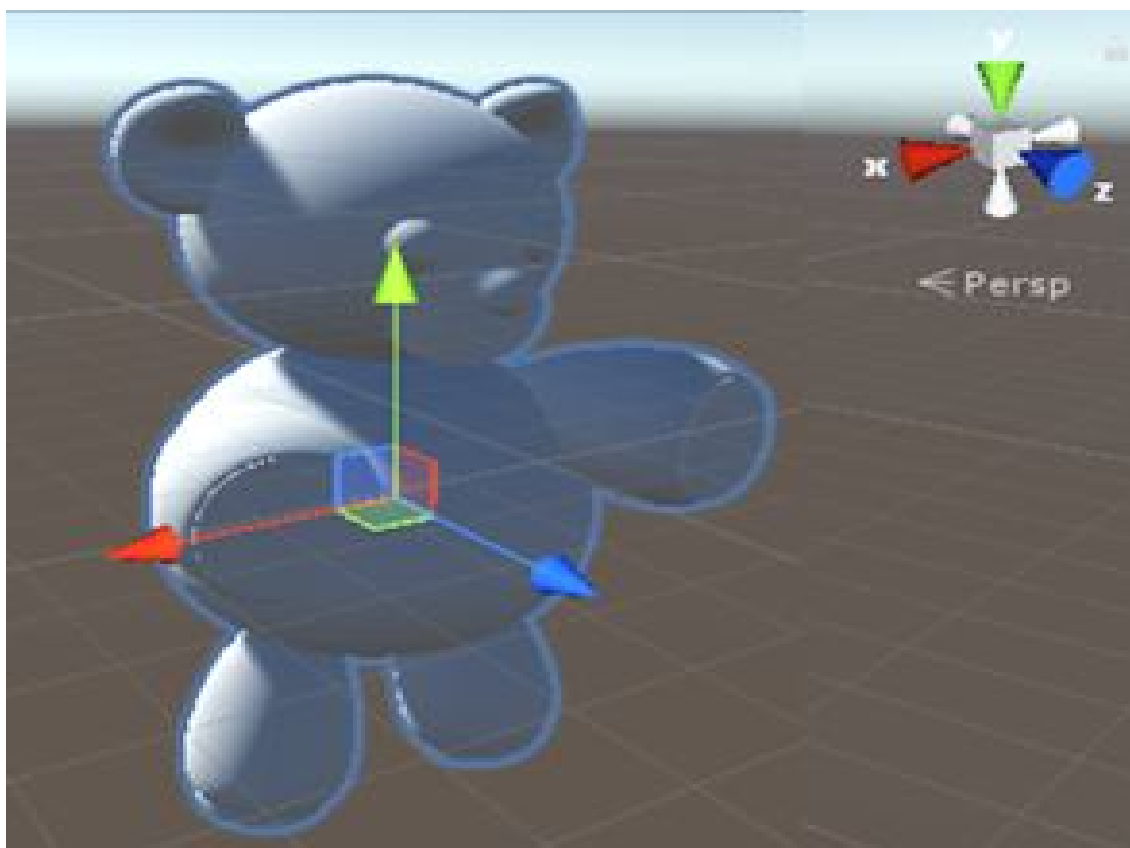


Рисунок 3 – Направления осей в Blender

Но и это может не помочь, поэтому следует повернуть 3D-модель следующим образом:

1 шаг. z – верх, $-z$ – низ модели, лицо – в направлении оси $-y$.

2 шаг. После чего выбрать 3D-модель вида «справа»

3 шаг. Необходимо повернуть ее вокруг оси x по часовой стрелке на 90 градусов. Это выполняется нажатием на клавишу «R», затем нажимается клавиша «X» для выбора оси, затем вводится значение 90 – угол поворота, подтверждение выполняется нажатием клавиши Enter.

4 шаг. Теперь необходимо сбросить значения поворота и масштаба модели на значения по умолчанию и повернуть модель в исходное положение (на минус 90 градусов вокруг оси x), и только после этого можно смело экспортировать 3D-модель для использования в Unity3D.

Ошибки при экспорте. Ошибки, связанные с точкой Origin. Кроме осей, при экспорте объектов важным является точка Origin – в Unity она является центральной или нулевой точкой модели, относительно которой производится поворот 3D-модели. Если импортировать в Unity одну и ту же модель 2 раза, но в первый раз точку Origin оставить в середине нижней границы объекта по умолчанию, а во второй раз объект сместить относительно этой точки, тогда при вращении объекта в Unity модели будут вести себя по-разному. Первый будет вращаться на месте, а второй – вокруг невидимого объекта. На самом деле оба объекта будут вращаться вокруг точки Origin, однако для первого объекта она будет являться осью самого объекта, а для второго – точкой, вокруг которого ходит объект. Такому объекту очень сложно описать функции движения. Поэтому для устранения проблемы точку Origin необходимо будет сместить, что можно сделать, как вернув модель в Blender, так и в Unity при описании скриптов.

Кроме прямых способов редактирования точки Origin, можно создать «костыль» для таких объектов. Для этого на сцене создается пустышка, и пустышку назначают объектом-родителем такой неправильно экспортированной 3D-модели, а саму 3D-модель, соответственно, дочкой объекта-пустышки. Но такой костыль может оказаться весьма громоздким, поэтому проще всего исправлять такую ошибку на этапе моделирования и подготовки к экспорту.

Также существует ошибка, когда точка Origin находится не по нижнему краю объекта, а в середине объема фигуры, тогда после экспорта в Unity модель будет проваливаться под землю. В таких случаях также необходимо исправлять расположение точки Origin.

Особенности текстурирования. Как правило, задание материалов и текстурирование – это последний шаг при создании 3D-модели, и при экспорте/импорте 3D-модели из Blender в Unity3D хочется, чтобы материалы и карты нормалей сразу назначались для модели.

Как говорилось ранее, текстуры должны загружаться либо из папки проекта Unity, либо из папки «textures» проекта, поэтому как бы мы ни старались, сохранить модель и текстуры единым файлом не получится. Однако это не значит, что процесс подготовки текстур слишком сложный.

Для объекта в свойствах в разделе материала необходимо добавить новый материал.

После этого необходимо создать текстуру материалу и выбрать изображение, которое следует использовать для нее. В Blender есть существенное ограничение, за один раз можно запечь только 1 тип материала: прозрачность, глянец, свечение и т.д. Поэтому если объект сложный – требует разных текстур, то необходимо будет воспользоваться дополнительным программным обеспечением с более широкими возможностями для текстурирования объекта.

После того как предыдущие действия будут выполнены, необходимо будет создать еще одну текстуру и назначить ей карту нормалей [6]. Процесс добавления карты нормалей почти ничем не отличается от добавления диффузной карты.

В результате создания карты нормалей может получиться не то, что вы хотели увидеть. Это связано с тем, что текстура будет теперь отображаться на поверхности 3D-модели как обычная диффузная карта. Для того чтобы карта нормалей отображалась как карта нормалей в Blender, необходимо обозначить назначенную 3D-модели текстуру как карту нормалей в меню текстуры во вкладках «Image Sampling» и «Mapping».

Возвращаясь к тому, что в Blender экспорт текстуры не получится сохранить вместе с 3D-моделью, решение очень простое: 3D-модель можно экспортировать в формате FBX, а текстуры приложите к ней во время импорта 3D-модели в Unity3D.

В итоге получится, что при импорте в Unity необходимо выбрать файл FBX и две карты: карту нормалей и диффузную карту (текстуру) и перетащить их все вместе в одну из папок «Assets» в Unity3D. Если все было сделано правильно, то сразу после импорта Unity3D предложит пометить карту нормалей как карту нормалей. Данное предложение можно принять либо отказаться и настроить атрибуты для изображения в меню настройки изображения в «Inspector» либо в меню материала.

Теперь при добавлении импортированной 3D-модели на сцену модель будет добавляться вместе с материалами и текстурой, которые были созданы в Blender.

Что касается объектов, содержащих волосы или ворсинки, созданные с помощью системы частиц в Blender, такие текстуры импортировать в Unity не получится. Для создания объектов, имеющих шерсть или волосы, необходимо либо систему частиц с помощью ряда модификаторов перевести в меши, в результате чего получится «highpoly» объект, что совершенно не подходит для создания игр. Либо необходимо создание имитации волос путем наложения соответствующих текстур.

Заключение. Для работы в сфере 3D-моделирования в зависимости от целей может быть достаточно и одного программного продукта [7, 8], однако, как правило, возможностей одной программы недостаточно для реализации задуманного проекта. Unity – не только профессиональный мощный инструмент для создания игр и иных приложений с использованием 3D-моделирования, но и неплохо оснащённая платформа для создания простых 3D-объектов, недостающих для визуализации каких-либо сцен. Однако более сложные объекты удобнее всего создавать в специальном редакторе Blender, после чего полученный объект импортировать в Unity, хоть и процесс импортирования имеет свои нюансы.

В статье были рассмотрены главные ошибки, возникающие в процессе экспорта объектов и способы их устранения, что значительно облегчит результат переноса объектов из Blender в Unity, так как возможные проблемы будут устраняться на этапе подготовки объектов к экспорту.

Таким образом были сделаны следующие выводы:

- основные сложности экспорта объектов из Blender в Unity связаны с различием ориентации осей в этих программах;
- для объектов, которые в Unity будут использоваться как динамические, важно правильное определение точки Origin;
- материал и текстуры для объекта нельзя сохранить единым файлом с объектом;
- при создании объекта в Blender можно предусмотреть только единую текстуру для всего объекта;
- импорт в Unity системы частиц, созданных в Blender, невозможен напрямую;
- выбор формата для экспорта из Blender в Unity зависит от предпочтений моделлера.

Библиографический список

1. Blender. – Режим доступа: <https://www.blender.org/about/license/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
2. Blender 2.80 Руководство. – Режим доступа: <https://docs.blender.org>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
3. Хокинг Джозеф. Unity – в действии. Мультиплатформенная разработка на C# / Хокинг Джозеф. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 336 с. – ISBN 978-1617292323.
4. Unity. ProBilder. – Режим доступа: <https://unity3d.com/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ.
5. Кенни Ламмерс. Шейдеры и эффекты в Unity. Книга рецептов / Кенни Ламмерс. – Москва : ДМК-пресс, 2016. – 274 с.
6. Запекаем карты нормалей в текстуру и ленивое текстурирование 3D-модели через авторазвертку и запекание текстуры в Blender для игрового движка Unity3D. – Режим доступа: http://www.3dbuffer.com/articles/zapekaem-kartyi-normaley-v-teksturu-i-lenivoe-teksturovanie-3d-modeli-cherez-avtorazvertku-i-zapekanie-tekstury-v-blender-dlya-igrovogo-dvizhka-unity3d/#.Xc_ByVczblU, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Бикмуллина И. И. Разработка методики автоматизированного синтеза информационных систем на основе семантических отношений предметной области / И. И. Бикмуллина, И. А. Барков, А. П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 7. – С. 236–242.
8. Шаехов И. М. Организация визуального представления данных / И. М. Шаехов, И. И. Бикмуллина, А. П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 6. – С. 167–169.

References

1. Blender. Available at: <https://www.blender.org/about/license/>
2. Blender 2.80 Manual. Available at: <https://docs.blender.org>
3. Hawking Joseph. Unity – in action. Multiplatform development in C#. St. Petersburg, Piter Publ., 2016. 336 p. ISBN 978-1617292323.
4. Unity. ProBilder. Available at: <https://unity3d.com/>
5. Kenny Lammers. Shaders and effects in Unity. A book of recipes. Moscow, DMK-press Publ., 2016. 274 p.
6. Zapekaem kartyi normaley v teksturu i lenivoe teksturovanie 3D-modeli cherez avtorazvertku i zapekanie tekstury v Blender dlya igrovogo dvizhka Unity3D [Bake normal maps into a texture and lazy texturing of the 3D model through auto-expansion and baking of the texture in Blender for the Unity3D game engine]. Available at: http://www.3dbuffer.com/articles/zapekaem-kartyi-normaley-v-teksturu-i-lenivoe-teksturovanie-3d-modeli-cherez-avtorazvertku-i-zapekanie-tekstury-v-blender-dlya-igrovogo-dvizhka-unity3d/#.Xc_ByVczblU
7. Bikmullina I. I., Barkov I. A., Kirpichnikov A. P. Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo sinteza informacionnykh sistem na osnove semanticheskikh otnosheniy predmetnoy oblasti [Development of methods for automated synthesis of information systems based on semantic relations of the subject area]. Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan technological University], 2015, vol. 18, no. 7, pp. 236–242.
8. Shaekhov I. M., Bikmullina I. I., Kirpichnikov A. P. Organizatsiya vizualnogo predstavleniya dannykh [Organization of visual representation of data]. Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Kazan technological University], 2019, vol. 22, no. 6, pp. 167–169.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.075-084

УДК 004. 056

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ЭЛЕМЕНТ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА¹

Статья поступила в редакцию 15.10.2020, в окончательном варианте – 25.10.2020.

Путято Михаил Михайлович, Московский государственный университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0003-0414-6034, e-mail: putyato.m@gmail.com

Макарян Александр Самвелович, Московский государственный университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-1801-6137, e-mail: msanya@yandex.ru

Черкасов Александр Николаевич, Московский государственный университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, e-mail: cherk@mail.ru

Горин Иван Григорьевич, Негосударственное частное общеобразовательное учреждение "Лицей "ИСТЭК", 350049, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Красных Партизан, 82, учащийся

В статье рассматриваются вопросы анализа и моделирования адаптивной системы комплексного обеспечения безопасности как элемента инфраструктуры ситуационного центра. Постоянно изменяющиеся условия информационной среды и глобального информационного пространства диктуют возможность автоматизированного или автоматического «приспособления» систем безопасности к требованиям современных программных комплексов. Основными задачами по организации интеграции комплексной системы обеспечения безопасности в систему ситуационного центра и определения регламента взаимодействия с функциональными блоками является анализ и внедрение различных формализованных процедур обеспечения комплексной безопасности. Адаптивная система комплексного обеспечения безопасности рассматривается как объект, реализующий возможность управления и оперативного построения модели защиты ситуационного центра в зависимости от решаемой задачи или предупреждения, или ликвидации инцидента. Предложенный подход продиктован не только повышением функциональности современных технологий, но и требованиями к созданию адаптивных интегрированных решений, масштабируемых в рамках архитектуры для защиты от различного типа угроз. Использование комплексной системы обеспечения безопасности в рамках предложенного подхода позволит оперативно реагировать на инциденты как внешнего, так и внутреннего характера, что позволит своевременно нейтрализовать последствия их влияния. Адаптивная комплексная система обеспечения безопасности как общая платформа обеспечит своевременный мониторинг, контекст и возможности управления в различных ситуациях. Разработка такой платформы интеграции позволит улучшить автоматизацию и повысить качество информации, предоставляемой продуктами для обеспечения информационной безопасности.

Ключевые слова: кибербезопасность, комплексная безопасность, ситуационный центр, информационная безопасность, сложные адаптивные системы, модель с полным перекрытием, математическая модель

ADAPTIVE INTEGRATED SECURITY ASSURANCE SYSTEM AS AN ELEMENT OF THE INFRASTRUCTURE OF THE SITUATION CENTER

The article was received by the editorial board on 15.10.2020, in the final version – 25.10.2020.

Putyato Mikhail M., Moscow State University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0003-0414-6034, e-mail: putyato.m@gmail.com

Makaryan Alexander S., Moscow State University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-1801-6137, e-mail: msanya@yandex.ru

Cherkasov Alexander N., Moscow State University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: cherk@mail.ru

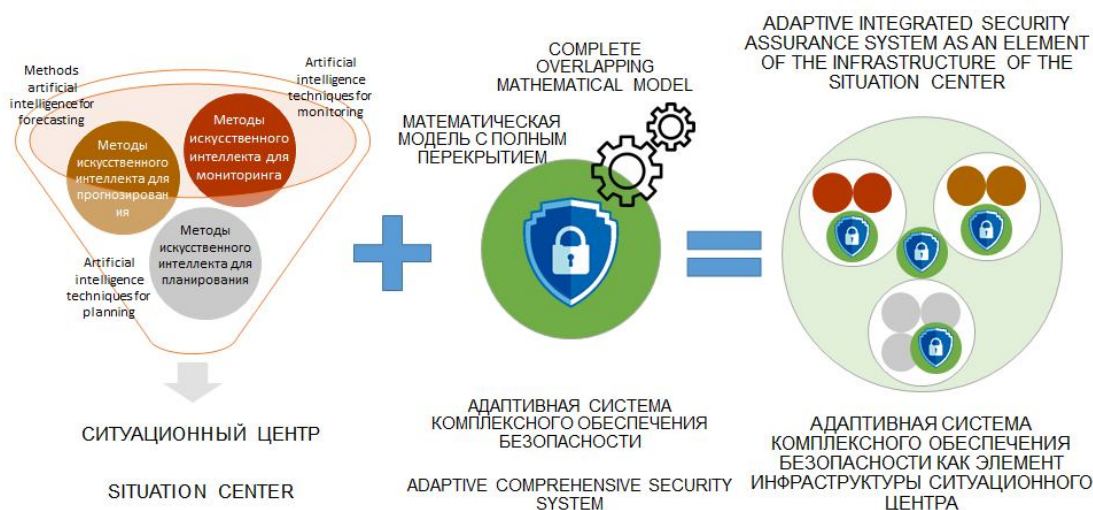
¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-47-235006 «Разработка теоретических основ и алгоритмов функционирования адаптивных систем управления ситуационных центров на основе методов искусственного интеллекта».

Gorin Ivan G., Non-state private educational institution "Lyceum "ISTEK", 82 Krasnykh Partizan St., Krasnodar, 350049, Russian Federation, pupil

The article deals with the analysis and modeling of an adaptive system for integrated security provision as an element of the infrastructure of the situation center. The constantly changing conditions of the information environment and the global information space dictate the possibility of automated or automatic "adaptation" of security systems to the requirements of modern software systems. The main tasks for organizing the integration of an integrated security system into the situation center system and determining the rules for interaction with functional blocks is the analysis and implementation of various formalized procedures for ensuring integrated security. An adaptive integrated security system is considered as an object that implements the ability to manage and quickly build a security model for a situation center, depending on the problem being solved, or preventing or eliminating an incident. The proposed approach is dictated not only by an increase in the functionality of modern technologies, but also by the requirements for the creation of adaptive integrated solutions that are scalable within the architecture to protect against various types of threats. The use of an integrated security system within the framework of the proposed approach will make it possible to promptly respond to incidents of both external and internal nature, which will allow timely neutralization of the consequences of their influence. An adaptive integrated security system as a common platform will provide timely monitoring, context and control capabilities in various situations. The development of such an integration platform will improve automation and improve the quality of information provided by information security products.

Keywords: cybersecurity, integrated security, situation center, information security, complex adaptive systems, full overlap model, mathematical model

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Современные условия развития различных отраслей экономики постоянно предъявляют для информационных систем новые требования:

- минимизация человеческого фактора;
- увеличение автоматизации процессов обработки и управления информацией;
- интеллектуализация решений;
- безопасность информационных технологий, клиентов и организации в целом;
- адаптивность системы к постоянно изменяющимся условиям.

Отдельное место в данной парадигме занимает безопасность IT-систем, особенно критических информационных инфраструктур[1], четко регламентированных нормативными и законодательными актами Российской Федерации.

Изменяющиеся условия информационной среды и глобального информационного пространства диктуют возможность автоматизированного или автоматического «приспособления» систем безопасности к требованиям современных программных комплексов.

Рассматривая ситуационный центр как многоаспектную систему для организации всех этапов принятия решений руководителем, а также обеспечивающих подсистем аппаратно-технического и программного вида работ, необходимо сформулировать задачи о взаимодействии комплексной системы обеспечения безопасности (КСОБ) со структурными элементами ситуационного центра (СЦ).

Особенности функционирования систем поддержки принятия решений [2] (СППР) в ситуационных центрах позволяют построить алгоритм решения задач различного класса на основе синтеза взаимосвязей между факторами, характеризующими задачу и целевое состояние объекта управления [3, 4].

Адаптивная система обеспечения комплексной безопасности как элемент ситуационного центра располагает всеми возможностями, доступными основным элементам распределенной структуры. В частности, для реализации адаптивности состояния защищенности неотъемлемыми этапами интеллектуальной поддержки являются: моделирование ситуации, экспертная поддержка, интеллектуальный поиск в интернете.

Основными задачами по организации интеграции КСОБ в систему СЦ и определения регламента взаимодействия с функциональными блоками является анализ и внедрение различных формализованных процедур обеспечения комплексной безопасности. В работах авторов рассматривались частные случаи использования как существующих средств противодействия несанкционированному доступу к критичным данным [5, 6], так и новых подходов к осуществлению и реализации современных способов защиты [7].

Согласно современным исследованиям [8], адаптивная система защиты информации должна формироваться на применении существующих методов управления и адаптации из других областей научного знания в отношении вопросов информационной безопасности. Использование обобщенных принципов адаптации прикладного характера отражают специфику отдельной сферы. Проведенные исследования [9] показывают, что большинство адаптивных систем управления строятся на основе регламентированных и устоявшихся моделей адаптации систем управления безопасностью. Такие модели предлагают либо параметрическую систему адаптации, позволяющую корректировать или подстраивать параметры системы без изменения принципов работы, либо структурную адаптацию с изменением структуры модели и сохранением параметров системы.

Использование систем защиты информации различного назначения позволяет выполнять достаточно большой спектр функций: мониторинг, обработка и контроль разнородной информации с достаточной большой степенью неопределенности. Обработка информации и использование ее для конкретной ситуации занимает большое количество времени, информационных и аналитических ресурсов [10].

Функционирование различного класса систем [8] в рамках единой адаптивной комплексной системы обеспечения безопасности позволит обеспечить выполнение большего количества задач с минимальным привлечением ресурсов. А использованием математического и интеллектуального аппарата позволит обеспечить методологическую составляющую таких систем.

Рассматривая адаптивную систему с интеллектуальным управлением как необходимое решение, влияющее на скорость реагирования на инциденты информационной безопасности, проведем анализ набора методов искусственного интеллекта, уже предложенных к использованию в распределенной структуре ситуационного центра:

1. Методы искусственного интеллекта для мониторинга.
 - 1.1. Компьютерное зрение.
 - 1.2. Интеллектуальные агенты.
 - 1.3. Обработка естественных языков.
 - 1.4. Экспертные системы.
 - 1.5. Когнитивное моделирование.
2. Методы искусственного интеллекта для прогнозирования.
 - 2.1. Нейронные сети.
 - 2.2. Нечеткая логика.
 - 2.3. Экспертные системы.
3. Методы искусственного интеллекта для планирования.
 - 3.1. Нейронные сети.
 - 3.2. Нечеткая логика.
 - 3.3. Экспертные системы.

На рисунке 1 приведена схема включения адаптивной системы комплексной безопасности в структуру интеллектуального ситуационного центра [11].

Взаимодействие с информационными подсистемами СЦ. Организация функционирования комплексной системы обеспечения безопасности (КСОБ) строится на активном включении в ее работу информационных систем без нарушения работоспособности систем и их быстрого действия. КСОБ – интегрированная платформа для быстрого обнаружения и реагирования на угрозы с автоматическим сбором и интеллектуальным анализом данных. Такая платформа постоянно наблюдает за безопасностью системы и не только оповещает о нарушениях и подозрительных событиях, но и создает и формирует модель событий. КСОБ поддерживает процессы мониторинга, прогнозирования, планирования и принятия решений с точки зрения информационной и комплексной безопасности на всех этапах функционирования ситуационного центра [10].

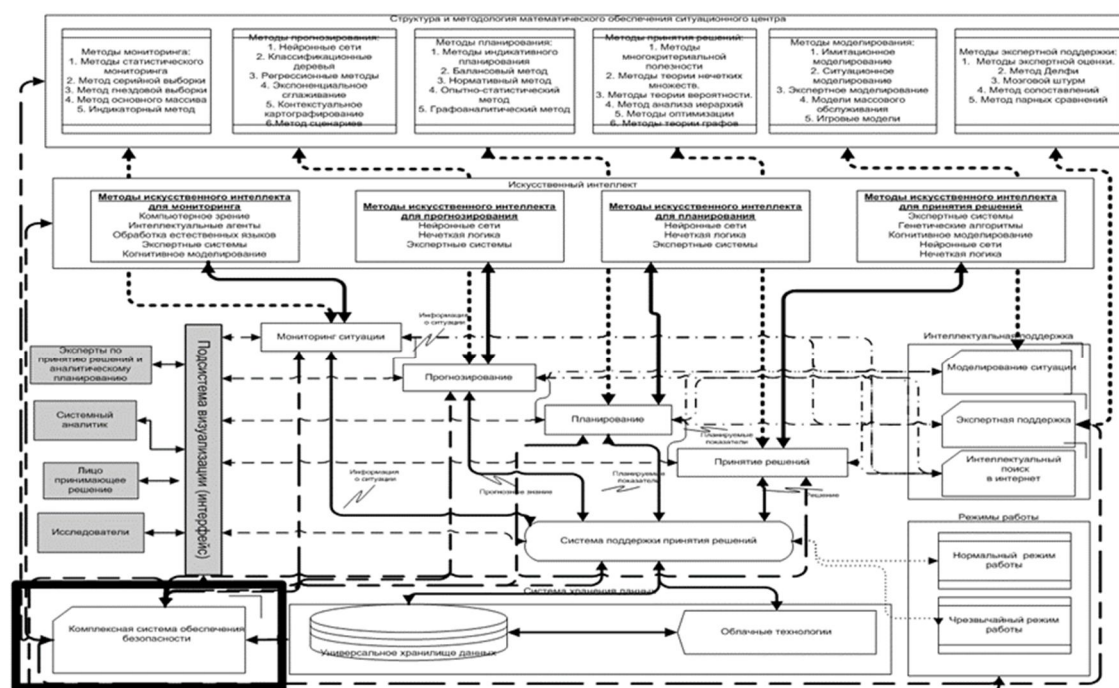


Рисунок 1 – Схема включения адаптивной системы комплексной безопасности в структуру интеллектуального ситуационного центра

Применение интеллектуальных технологий для обеспечения безопасности. Использование математических методов и технологий искусственного интеллекта позволит минимизировать участие некомпетентных специалистов в обеспечении безопасности. Речь идет о некоторой компиляции или синергии знаний и опыта в определенных направлениях обеспечения безопасности, которая позволила бы в рамках одной подсистемы закрыть вопрос с обеспечением безопасности объекта путем объединения направлений обеспечения безопасности через определенный набор маркеров или систему критериев в комплексную систему безопасности СЦ.

Контроль функционирования СЦ в различных режимах. Работа ситуационного центра предусматривает переходы в различные режимы для создания оптимальной структуры, предназначенной для обеспечения эффективного взаимодействия и координации работы всех компонентов системы ситуационного центра. В таком случае КСОБ обеспечивает структурную, параметрическую и ситуационную безопасность при функционировании интегрированного комплекса как в режиме реального времени, так и в режиме офлайн [10].

Формирование новых моделей безопасности на основе систем моделирования и экспертного мнения. При рассмотрении многоаспектных проблем и развития ситуации активно могут применять системы имитационного, агентного и дискретно-событийного моделирования. Включение процедур экспертной поддержки позволит получить дополнительную информация по проблемам безопасности. Эффективность использования таких процедур обеспечит возможность уменьшения времени на принятие решений [10], использование эвристического аппарата экспертов для накопления соответствующей базы знаний.

Организационно-правовое сопровождение. Как свидетельствуют результаты исследования, которое провели PonemonInstitute и компания Fasoo [12], безалаберность сотрудников – главная причина утечек. Именно она – причина более половины инцидентов (56 %). В 37 % случаев утечка происходит в результате утери или кражи устройства. 35 % инцидентов объясняется ошибкой третьей стороны. Лишь в 22 % случаев конфиденциальная информация пропадает по вине злоумышленников, не связанных с компанией [13].

КСОБ должна включать и функции нормативно-правового и организационного сопровождения безопасности, особенно относительно сотрудников ситуационного центра, обладающих достаточным объемом знаний и информации.

Хранилище данных. Безопасность БД и ХД. Облачные технологии. Распределенные технологии передачи и хранения данных. Подсистема визуализации. Рассматривается группа пользователей для работы в защищенном периметре закрытой части ситуационного центра. Системы идентификации с использованием комбинированных методов доступа: биометрические, аппаратно-программные, организационные, пароли и ключи доступа.

Адаптивная система комплексного обеспечения безопасности рассматривается как объект, реализующий возможность управления и оперативного построения модели защиты ситуационного центра в зависимости от решаемой задачи или предупреждения, или ликвидации инцидента. Рассмотрим подробно связи и взаимодействие КСОБ со всеми элементами ситуационного центра.

1. Связь КСОБ с информационно-аналитическими системами мониторинга, планирования, прогнозирования [10] и принятия решений в ситуационном центре:

- a. предотвращение вторжений;
- b. обеспечение реализации политик безопасности;
- c. оперативное предупреждение о нарушениях и инцидентах;
- d. визуализация ключевых показателей по результатам мониторинга безопасности;
- e. программно-аппаратная защита;
- f. техническая защита.

2. Связь КСОБ в рамках универсального хранилища данных отражает следующие функции:

- a. резервное копирование данных;
- b. безопасность информационных баз;
- c. передача данных без потерь;
- d. бесперебойная работа систем.

3. Взаимодействие КСОБ со структурой и методологией математического обеспечения и искусственного интеллекта ситуационного центра обеспечивает:

- a. модели и политики комплексной безопасности;
- b. методы искусственного интеллекта в безопасности;
- c. принципы реализации комплексной безопасности;
- d. прогнозирование новых угроз и уязвимостей.

4. Связь КСОБ с сотрудниками ситуационного центра:

- a. мониторинг показателей деятельности КСОБ;
- b. реализация пропускного режима на физический объект;
- c. обеспечение нормативно-правового аспекта безопасности

Математическая модель комплексной системы обеспечения безопасности. Математическая модель представляет собой формализованное описание сценариев в виде логических алгоритмов, представленных последовательностью действий нарушителей и ответных мер. Количественные характеристики модели определяют основные функциональные зависимости, которые используются для оценки уязвимости объекта, построения системы защиты и последующего рассмотрения ее эффективности.

Различают несколько типов моделей в зависимости от факторов:

- модели минимизации рисков [14];
- модели на основе анализа угроз в системе [15];
- модели конечных состояний [16];
- модели на основе дискретных компонент [17].

Формальные подходы к решению оценки защищенности системы не получили широкого практического распространения из-за трудностей, связанных с формализацией.

Для выбора необходимой модели системы защиты необходимо произвести их сравнение по параметрам, обуславливающим функционирование системы защиты и разрешение выполнения операции над объектом защиты либо запрещение (табл.).

Таблица – Сравнение моделей построения комплексной системы информационной безопасности

Критерии модели	Механизм реализации	Динамика изменения системы	Финансовые затраты	Оценка степени уязвимости и ущерба
Модели минимизации рисков	Средний	Средняя	Высокие	Средняя
Модели на основе анализа угроз в системе	Сложный	Высокая	Низкие	Высокая
Модели конечных состояний	Сложный	Средняя	Высокие	Средняя
Модели на основе дискретных компонент	Простой	Низкая	Низкая	Низкая

Как видно из представленной таблицы, лучшей моделью для обеспечения эффективной работы интеллектуального ситуационного центра являются модели анализа угроз систем. Одной из наиболее популярных и эффективных моделей на основе анализа угроз в системе является модель с полным перекрытием [18], которая должна иметь, по крайней мере, одно средство (субъект) для обеспечения безопасности на каждом возможном пути проникновения в систему. Для учета количественных факторов состояний комплексной системы обеспечения безопасности ситуационного центра определена модель системы защиты с полным перекрытием, которая относится к типу моделей анализа угроз в системе. Данная модель позволит вести постоянный мониторинг и контроль количественных показателей, позволяющих отслеживать набор защищаемых объектов, который сопряжен с некоторой величиной ущерба, и некоторое множество действий, к которым может прибегнуть злоумышленник для получения несанкционированного доступа к объекту.

Модель с полным перекрытием рассматривается в непосредственном взаимодействии «области угроз», «системы защиты» и «защищаемой области». Такая модель может быть описана следующими множествами:

$T = \{t_i\}$ – множество угроз;

$O = \{o_j\}$ – множество объектов защищенной системы;

$M = \{m_k\}$ – множество механизмов безопасности СЦ.

Отношения элементов множеств описывают систему защиты. Для описания системы защиты в таком случае обычно используют графовую модель, в которой множество отношений угроза – объект образует двудольный граф. Цель защиты состоит в перекрытии всех возможных ребер в графе. Это достигается введением третьего набора – M . Стандартная модель с полным перекрытием приведена на рисунке 2.

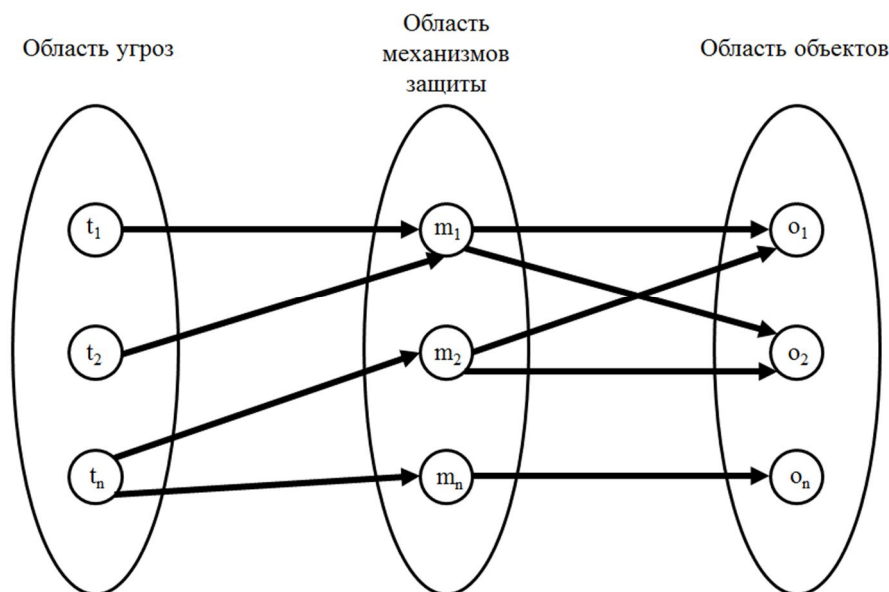


Рисунок 2 – Стандартная модель комплексной системы обеспечения безопасности с полным перекрытием

В последнее время наиболее эффективной показала себя модель, которая уточняет общую модель с полным перекрытием, где производится введение набора уязвимостей V и набора барьеров B .

Уязвимость системы защиты – возможность осуществления угрозы t_i в отношении объекта o_j . Набор уязвимостей V определяется подмножеством декартова произведения $T*O$: $vt = \langle t_i, o_j \rangle$.

Барьеры определяются декартовым произведением $V*M$: $b = \langle t_i, o_j, m_k \rangle$. Под барьерами понимают пути осуществления угроз безопасности, перекрытые средствами защиты.

Для системы с полным перекрытием для любой уязвимости имеется барьер. Другими словами, для всех угроз безопасности существуют механизмы защиты, препятствующие осуществлению данных угроз.

Механизмы защиты обеспечивают некоторую сопротивляемость угрозам, поэтому в качестве характеристик барьера может рассматриваться набор $\langle P_i, D_i, R_i \rangle$, где P_i – вероятность появления i -й угрозы, D_i – потенциальный ущерб при осуществлении i -й угрозы, а R_i – степень сопротивляемости механизма защиты.

Прочность барьера характеризуется величиной остаточного риска X_i , связанного с возможностью осуществления угрозы t_i в отношении объекта o_j при использовании механизма защиты s_k :

$$X_i = P_k \cdot D_k \cdot (1 - R_k). \quad (1)$$

Для определения величины защищенности используют соотношение:

$$Z = \frac{1}{\sum_{\forall b_k \in B} P_k \cdot D_k \cdot (1 - R_k)}, \quad (2)$$

где $P_k, D_k, R_k \in (0, 1)$.

На практике получение точных значений приведенных характеристик барьеров затруднено, поскольку понятия угрозы, ущерба и сопротивляемости механизма защиты трудно формализовать.

Для защиты информации, допускающей оценку ущерба, актуальны стоимостные методы оценки эффективности средств защиты. Эти методы характеристики барьеров дополняет величина F_i – затраты на построение барьера b_i . В данном случае выбор оптимального набора СЗИ связан с минимизацией суммарных затрат $A = \{a_i\}$, состоящих из затрат на создание барьера $F = \{f_i\}$ и возможных потерь от осуществления угроз $N = \{n_i\}$.

Модифицированная модель комплексной системы обеспечения безопасности с полным перекрытием приведена на рисунке 3.

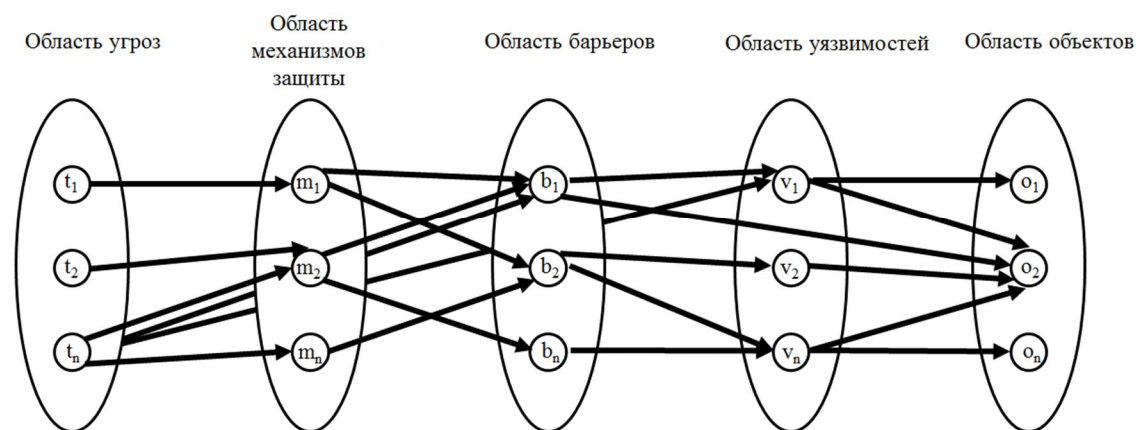


Рисунок 3 – Стандартная модель комплексной системы обеспечения безопасности с полным перекрытием

Данная модель является общей и не полностью отражает концептуальное построение КСОБ в рамках ситуационного центра. Предлагается использовать адаптивную модифицированную модель с полным перекрытием. Предлагаемая модель позволит в зависимости от целей и решаемых задач организовать множество математических моделей как части системы комплексной защиты, которые еще на стадии проектирования системы позволяют оценить ее эффективность (рис. 4).

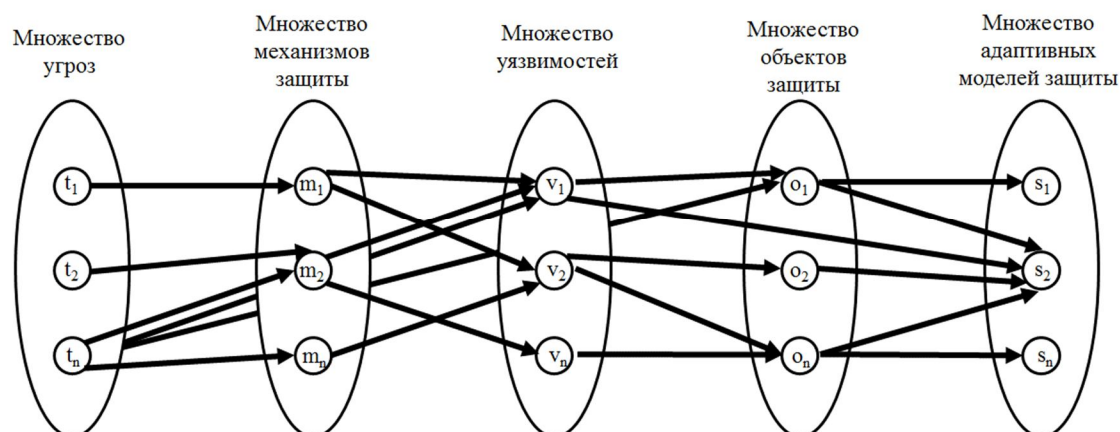


Рисунок 4 – Стандартная модель комплексной системы обеспечения безопасности с полным перекрытием

Модель адаптивного управления безопасностью предлагается описывать формулой *Безопасность* = *Мониторинг* + *Аудит* + *Анализ риска* + *Политика безопасности* + *Средства защиты* + *Реализация контрмер* + *Реагирование*. Процесс определения эффективности комплексной системы обеспечения безопасности состоит из обособования показателей (критериев) оценки эффективности и методики расчета этих показателей. Предлагается выбрать оптимизационный подход для оценки комплексной системы обеспечения безопасности. При этом решается задача оптимизации вида: максимизировать некую функцию при заданных ограничениях. В случае адаптивных систем указанную методику предлагается расширить параметром k , характеризующим этапы адаптивного процесса.

Введем нижеследующие обозначения:

$T = \{t_j\}$ – множество угроз безопасности, $j = 1, \dots, n$;

$M^k = \{a_i^k\}$ – множество механизмов безопасности, используемых на k -м этапе адаптивного процесса, $k = 0 \dots R$;

$V = \{v_i\}$ – множество уязвимостей, $i = 1 \dots n$;

$C^k = \{c_i^k\}$ – допустимые затраты на создание защиты объекта (объем затрат на сопровождение системы с учетом реализации k -го этапа адаптивного процесса), причем c_i – это затраты на начальную разработку, обучение и первоначальный запуск адаптивной системы;

$d^k(i, j)$ – эффективность нейтрализации i -м механизмом безопасности j -й угрозы на k -м этапе.

Для построения математической модели вводят переменную $p(i, j)$, равную 1, если j -я угроза устраняется с помощью i -го механизма, и нулю – в противном случае и q , такую, что

$$q(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{– если, } i \text{ – й механизм без – ти используется для устранения } j \text{ – й угрозы} \\ 0 & \text{– в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

Если информационные угрозы между собой не связаны, то требуется найти максимальный эффект от нейтрализации множества информационных угроз T с помощью задекларированных в системе средств защиты S при ограничениях на общий объем затрат C :

$$\sum_{k=1}^R \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d^k(i, j) p(i, j) \rightarrow \max \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n c(i) * \text{sign} \sum_{j \in U} p(i, j) \leq C \quad (5)$$

$$p(i, j) \in (1, 0).$$

Несколько видоизменив постановку задачи и введя понятие функции принадлежности $\mu^S(x_i)$, получим вариант оценки эффективности информационной системы защиты в нечетких показателях. Пусть W – счетное множество показателей $W = \{w_i\}$, $i = 1 \dots h$, h – количество показателей. Принадлежность к определенному уровню безопасности определяем на заданном промежутке $[0, T]$. Тогда множество значений модели S , определяющих выполнение требований безопасности определяется как: $S = \sum_{i=1}^n \frac{\mu^A(x_i)}{x_i}$, где $\frac{\mu^A(x_i)}{x_i}$ – пара «функция принадлежности/элемент».

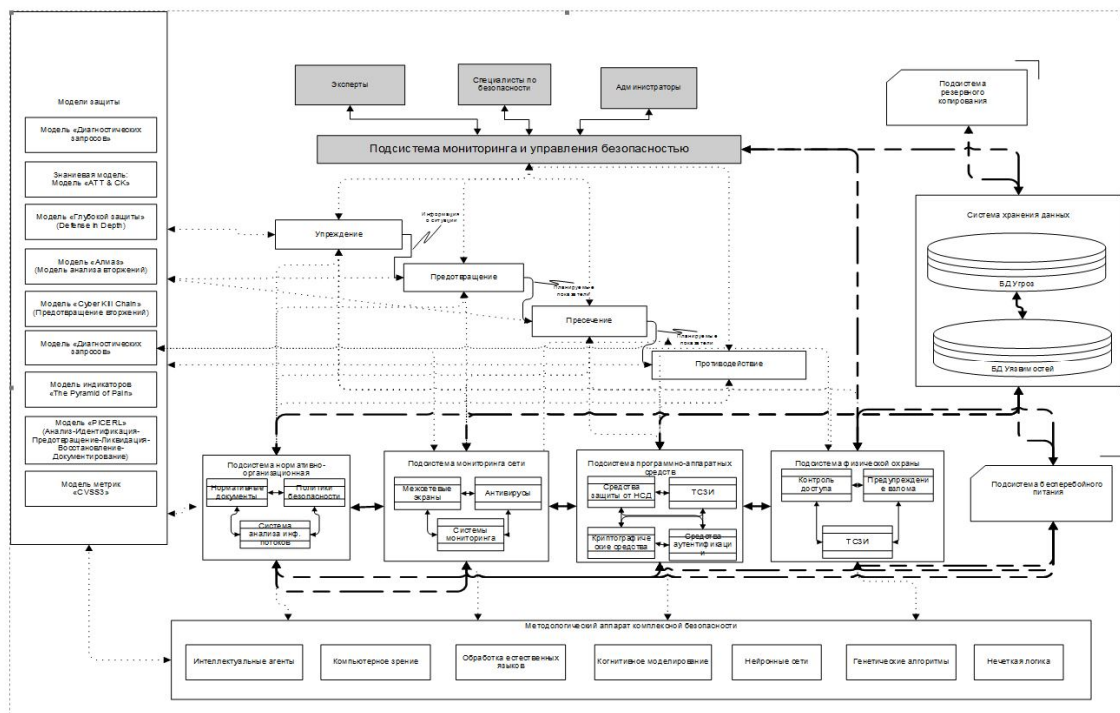


Рисунок 5 – Структурная схема комплексной системы обеспечения безопасности

Разные состояния безопасности системы выделяются в виде подмножеств нечёткого множества, а вероятность взлома оцениваемой системы может соответствовать кардинальному числу (мощности) нечёткого множества. При таком подходе для оценки эффективности защищённости адаптивной системы комплексной безопасности необходимы данные о необходимых требованиях защищённости и данные о полноте выполнения этих требований. Подобный подход позволит добиться постоянного мониторинга состояния безопасности ситуационного центра, выполнить прогноз возможности осуществления атак, провести изменение требований к переменным безопасности. Получаем возможность контролировать вновь возникающие угрозы, устранять уязвимости, которые могут привести к реализации угрозы, анализировать условия, приводящие к появлению уязвимостей. На рисунке 5 представлена структурная схема комплексной системы обеспечения безопасности.

Заключение. Проанализировав основные функции и характеристики адаптивной комплексной системы обеспечения безопасности на основе ситуационного центра, определим, что:

- 1) предложенный подход продиктован не только повышением функциональности современных технологий, но и требованиями к созданию адаптивных интегрированных решений, масштабируемых в рамках архитектуры для защиты от различного типа угроз;
- 2) использование КСОБ в рамках предложенного подхода позволит оперативно реагировать на инциденты как внешнего, так и внутреннего характера, что позволит своевременно нейтрализовать последствия их влияния.

Адаптивная комплексная система обеспечения безопасности как общая платформа обеспечит своевременный мониторинг, контекст и возможности управления в различных ситуациях. Разработка такой платформы интеграции позволит усовершенствовать процесс автоматизации и значительно улучшить качество информации, предоставляемой продуктами для обеспечения ИБ.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации». – 2017.
2. Курейчик В. М. Особенности построения систем поддержки принятия решений / В. М. Курейчик // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Тематический выпуск. – С. 92–98.
3. Симанков В. С. Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям / В. С. Симанков, А. Н. Черкасов, П. Ю. Бучацкий, В. В. Бучацкая, С. В. Теплоухов // Синтез системы поддержки принятия решений на основе интеллектуального ситуационного центра. Санкт-Петербург, 2020. – С. 260–263.
4. Тарасов Е. С. Методологические основы принятия решений с использованием автоматизации неформальных процедур / Е. С. Тарасов, В. С. Симанков, М. М. Путято // Естественные и технические науки. – 2010. – № 4 (49). – С. 292–297.
5. Власенко А. В. Дистанционные образовательные технологии / А. В. Власенко, М. М. Путято, А. С. Макарян // Возможности совершенствования кибербезопасности мобильных устройств на основе интеграции динамических биометрических методов. – Симферополь, 2020. – С. 369–372.
6. Макарян А. С. Классификация мессенджеров на основе анализа уровня безопасности хранимых данных / А. С. Макарян, М. М. Путято // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 4 (48). – С. 135–143.
7. Очерedyкo А. Р. Исследование SIEM-систем на основе анализа механизмов выявления кибератак / А. Р. Очерedyкo, В. С. Герасименко, М. М. Путято, А. С. Макарян // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». – 2020. – № 2. – С. 25–31.
8. Тюкин Ю. А. Адаптация в нелинейных динамических системах / Ю. А. Тюкин, В. А. Терехов. – Санкт-Петербург : ЛКИ, 2008. – С. 384.
9. Масаев С. Н. Оценка системы управления компанией на основе метода адаптационной корреляции к внешней среде / С. Н. Масаев, М. Г. Доррер // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 45–50.
10. Симанков В. С. Структура и методология функционирования интеллектуальной системы ситуационного центра / В. С. Симанков, А. Н. Черкасов // Глобальный научный потенциал. – 2015. – № 12 (57). – С. 32–37.
11. Федотова М. А. Интеллектуальные системы в информационно-аналитических (ситуационных) центрах в условиях перехода к цифровой экономике / М. А. Федотова, И. А. Мартынов // Московский экономический журнал. – 2019. – № 1.
12. Ponemon Institute и Fasoо проанализировали причины утечек корпоративных данных. – 2016. – Режим доступа: https://securenews.ru/ponemon_institute_fasoo_report/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.10.2020).
13. Эволюция угроз и стратегии защиты. – 2016. – Режим доступа: https://habr.com/ru/company/smart_soft/blog/304764/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.23.2020).
14. Баранкова И. И. Минимизация рисков информационной безопасности на основе моделирования угроз безопасности / И. И. Баранкова, У. В. Михайлова, М. В. Афанасьева // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Т. 7.
15. Любимов А. В. Модели угрозы в методологии общих критериев / А. В. Любимов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – С. 75–81.

16. Шушляпин Е. А. Модели конечного состояния для непрерывно-дискретных систем / Е. А. Шушляпин, Л. Н. Каное // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 1999. – С. 129–132.
17. Гугова Г., Карташов Я. Особенности дискретного моделирования динамических объектов / Г. Гугова, Я. Карташов // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2010. – № 4 (44). – С. 63–67.
18. Максименко В. Н. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности / В. Н. Максименко, Е. В. Ясюк // Экономика и качество систем связи. – 2017. – № 2. – С. 42–48.

References

1. *Federal Law of July 26, 2017 no. 187-FL "On the security of the critical information infrastructure of the Russian Federation"*, 2017.
2. Kureychik V. M. Osobennosti postroyeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Features of building decision support systems]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of the Southern Federal University. Technical science], 2012, thematic issue, pp. 92–98.
3. Simankov V. S., Cherkasov A. N., Buchatsky P. Yu., Buchatskaya V. V., Teploukhov S. V. Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam [International Conference on Soft Computing and Measurements]. *Sintez sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na osnove intellektualnogo situatsionnogo tsentra* [Synthesis of a decision support system based on an intelligent situational center]. St. Petersburg, 2020, pp. 260–263.
4. Tarasov E. S., Simankov V. S., Putyato M. M. Metodologicheskiye osnovy prinyatiya resheniy s ispolzovaniyem avtomatizatsii neformalnykh protsedur [Methodological foundations of decision-making using the automation of informal procedures]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Natural and Technical Sciences], 2010, no. 4 (49), pp. 292–297.
5. Vlasenko A. V., Putyato M. M., Makaryan A. S. Distsantsionnyye obrazovatelnyye tekhnologii [Distance educational technologies]. *Vozmozhnosti sovershenstvovaniya kiberbezopasnosti mobilnykh ustroystv na osnove integratsii dinamicheskikh biometricheskikh metodov* [Opportunities for improving the cybersecurity of mobile devices based on the integration of dynamic biometric methods]. Simferopol, 2020, pp. 369–372.
6. Makaryan A. S., Putyato M. M. Klassifikatsiya messendzherov na osnove analiza urovnya bezopasnosti khranimykh dannykh [Classification of messengers based on analysis of the security level of stored data]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokkiye tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 4 (48), pp. 135–143.
7. Ochelyko A. R., Gerasimenko V. S., Putyato M. M., Makaryan A. S. Issledovaniye SIEM-sistem na osnove analiza mekhanizmov vyavleniya kiberatak [Investigation of SIEM-systems based on the analysis of cyberattack detection mechanisms]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Yestestvenno-matematicheskiye i tekhnicheskiye nauki»* [Bulletin of the Adyge State University. Series "Natural-mathematical and technical sciences"], 2020, № 2, pp. 25–31.
8. Tyukin Yu. A., Terekhov V. A. *Adaptatsiya v nelineynykh dinamicheskikh sistemakh* [Adaptation in nonlinear dynamic systems]. St. Petersburg, LKI Publ., 2008, p. 384.
9. Masaev S. N., Dorner M. G. Otsenka sistemy upravleniya kompaniei na osnove metoda adaptatsionnoy korrelyatsii k vneshney srede [Assessment of the company management system based on the method of adaptation correlation to the external environment]. *Problemy upravleniya* [Problems of Management], 2010, no. 3, pp. 45–50.
10. Simankov V. S., Cherkasov A. N. Struktura i metodologiya funktsionirovaniya intellektualnoy sistemy situatsionnogo tsentra [The structure and methodology of functioning of the intellectual system of the situational center]. *Globalnyy nauchnyy potentsial* [Global Scientific Potential], 2015, no. 12 (57), pp. 32–37.
11. Fedotova M. A., Martynov I. A. Intellektualnyye sistemy v informatsionno-analiticheskikh (situatsionnykh) tsentrakh v usloviyakh perekhoda k tsifrovoy ekonomike [Intelligent systems in information and analytical (situational) centers in the transition to a digital economy]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2019, no. 1.
12. Ponemon Institute i Fasoo proanalizirovali prichiny utechek korporativnykh dannykh [Ponemon Institute and Fasoo analyzed the reasons for corporate data leaks], 2016. Available at: https://securenews.ru/ponemon_institute_fasoo_report/ (accessed 10.25.2020).
13. *Evolutsiya ugroz i strategii zashchity* [The evolution of threats and defense strategies], 2016. Available at: https://habr.com/ru/company/smart_soft/blog/304764/ (accessed 10.23.2020).
14. Barankova I. I., Mikhailova U. V., Afanasyeva M. V. Minimizatsiya riskov informatsionnoy bezopasnosti na osnove modelirovaniya ugroz bezopasnosti [Minimization of information security risks based on modeling security threats]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines], 2019, vol. 7.
15. Lyubimov A. V. Modeli ugrozy v metodologii obshchikh kriteriyev [Threat models in the general criteria methodology]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2006, pp. 75–81.
16. Shushlyapin E. A., Kanoe L. N. Modeli konechnogo sostoyaniya dlya nepreryvno-diskretnykh sistem [End-state models for continuous-discrete systems]. *Radiyelektronika, informatika, upravlinnya* [Radioelectronika, informatics, control], 1999, pp. 129–132.
17. Gutova G., Kartashov Ya. Osobennosti diskretnogo modelirovaniya dinamicheskikh obektov [Features of discrete modeling of dynamic objects]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Kemerovo State University], 2010, no. 4 (44), pp. 63–67.
18. Maksimenko V. N., Yasyuk E. V. Osnovnyye podkhody k analizu i otsenke riskov informatsionnoy bezopasnosti [Basic approaches to the analysis and assessment of information security risks]. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi* [Economy and quality of communication systems], 2017, no. 2, pp. 42–48.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.085-098
УДК 004.056

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ DECEPTION ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Статья поступила в редакцию 15.10.2020, в окончательном варианте – 25.10.2020.

Путято Михаил Михайлович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, e-mail: putyato.m@gmail.com

Макарян Александр Самвелович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, кандидат технических наук, доцент, e-mail: msanya@yandex.ru

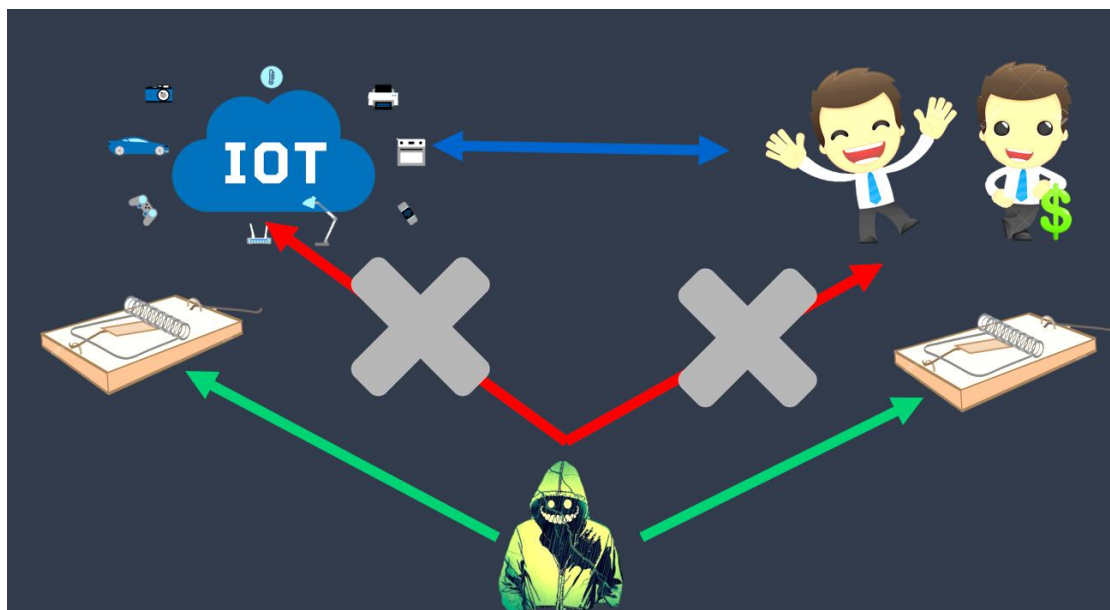
Чич Шамиль Муратович, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, студент, e-mail: shama_chich@icloud.com

Маркова Валентина Константиновна, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, студентка, e-mail: markokovt@yandex.ru

Устройства интернета вещей (IoT) приобретают все большую популярность за последнее время. Под IoT подразумевают умные холодильники, умные замки, видеонаблюдения и иные бытовые устройства, имеющие выход в интернет. Однако рост популярности технологии IoT все больше привлекает внимание злоумышленников, заинтересованных как в раскрытии конфиденциальных данных конечных пользователей, так и в нецелевом использовании вычислительных ресурсов атакуемых устройств. К сожалению, атаки злоумышленников зачастую завершаются успешной компрометацией устройств с вытекающими последствиями. Причины высокого уровня компрометации IoT-устройств вызваны как ошибками при проектировании, реализации, так и относительно простой возможностью эксплуатации с использованием различных средств аудита информационной безопасности. Для выявления дефектов разработки и реализации устройств необходимо иметь какое-то представление о них, то есть своевременно выявлять и устранять. Этого можно добиться различными способами. Одним из таких способов является создание специальных ловушек, собирающих информацию об активности злоумышленника, называемых honeypot. Суть технологии honeypot заключается в эмуляции или имплементации функционала существующих устройств, сервисов, протоколов с накоплением данных о вредоносной активности злоумышленника. Полученную информацию можно использовать как для улучшения защиты реальных устройств, сервисов, протоколов, так и для разработки мер противодействия злоумышленникам. В статье проводится сравнительный анализ существующих наиболее популярных honeypot-систем с целью выявления наиболее лучшей системы. В ходе анализа удалось выделить как слабые, так и сильные стороны этих систем. Далее проводится попытка адаптации этих же систем для функционирования на уровне устройств интернета вещей.

Ключевые слова: кибербезопасность, deception technology, honeypot, форензика, вредоносная программа, хакерская активность, информационная безопасность, кибер-ловушка, honeynet, защита информации

Графическая аннотация (Graphical annotation)



RESEARCH ON THE USE OF DECEPTION TECHNOLOGY TO PREVENT CYBERSECURITY THREATS

The article was received by the editorial board on 15.10.2020, in the final version – 25.10.2020.

Putyato Mikhail M., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: putyato.m@gmail.com

Makaryan Aleksandr S., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: msanya@yandex.ru

Chich Shamil M., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

student, e-mail: shama_chich@icloud.com

Markova Valentina K., Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

student, e-mail: markokovt@yandex.ru

Internet of things (IoT) devices have become increasingly popular in recent years. IoT refers to smart refrigerators, smart locks, video nannies, and other household devices that have access to the Internet. However, the growing popularity of IoT technology is increasingly attracting the attention of hackers who are interested both in disclosing confidential end-user data and in misuse of the computing resources of the attacked devices. Unfortunately, malicious attacks often result in successful compromise of devices, with the ensuing consequences. The reasons for the high level of compromise of IoT devices are caused both by errors in the design, implementation, and relatively simple operation with the use of various information security audit tools. To identify defects in the development and implementation of devices, you need to have some idea about them, that is, to identify and eliminate them in a timely manner. This can be achieved in various ways. One of these methods is to create special traps that collect information about the activity of an attacker, called honeypot. The essence of the honeypot technology is to emulate or implement the functionality of existing devices, services, and protocols, with the accumulation of data about malicious activity of an attacker. The information obtained can be used to improve the protection of real devices, services, and protocols, as well as to develop measures to counter hackers. The article provides a comparative analysis of the existing most popular honeypot systems in order to identify the best system. The analysis identified both the weaknesses and strengths of these systems. Next, an attempt is made to adapt these same systems to function at the level of Internet of things devices.

Keywords: cybersecurity, deception technology, honeypot, malicious ware, forensics malware, hacker activity, information security, cyber trap, honeynet, information security

Введение. Одна из основных задач, которую приходится решать специалистам по информационной безопасности, – это сбор сведений, позволяющих обнаружить злоумышленников, понять их цели и мотивы, обнаружить и пресечь их действия. Раньше суть киберугрозы пытались выявить, исключительно анализируя вредоносное программное обеспечение, использованное для проникновения: после того как произошел инцидент, единственные данные, которыми располагали специалисты, – это информация, оставшаяся во взломанной системе. К тому же, в последнее время наблюдается тенденция к так называемым бестелесным вредоносным программам. Все вредоносные действия такого класса программ производятся в ОЗУ, без записи исполняемого файла на диск, что делает затруднительным и даже невозможным анализ методов работ злоумышленников. Однако даже в случае успешного получения исполняемого файла программы, ситуация вряд ли поменяется, так как данные были скомпрометированы и/или безвозвратно потеряны.

Deception-технология – это использование техник активного обмана атакующих с применением специализированных ловушек, приманок и других методов дезинформации. Применение техник обмана внутри корпоративного периметра предоставляет предприятиям возможность раннего обнаружения наиболее опасных направленных атак, которые не были отслежены превентивными механизмами, такими как межсетевые экраны, системы предотвращения вторжений и антивирусные решения. Несмотря на то, что сам термин Deception еще достаточно новый, в основе технологии лежит известная концепция Honeypot (ловушка), но с принципиально другим уровнем реализации, возможностями масштабирования и автоматизации [9].

Deception-платформы – это централизованно управляемые системы для организаций, предназначенные для создания, распространения и управления всей обманчивой средой и связанными с ней архитектурными элементами, такими как подставные рабочие станции, серверы, устройства, приложения, службы, протоколы, элементы данных или пользователи, которые часто виртуализируются и по существу неотличимы от реальных активов и используются в качестве приманки для привлечения и обнаружения злоумышленника. Принцип работы для класса описанных платформ показан на рисунке 1.

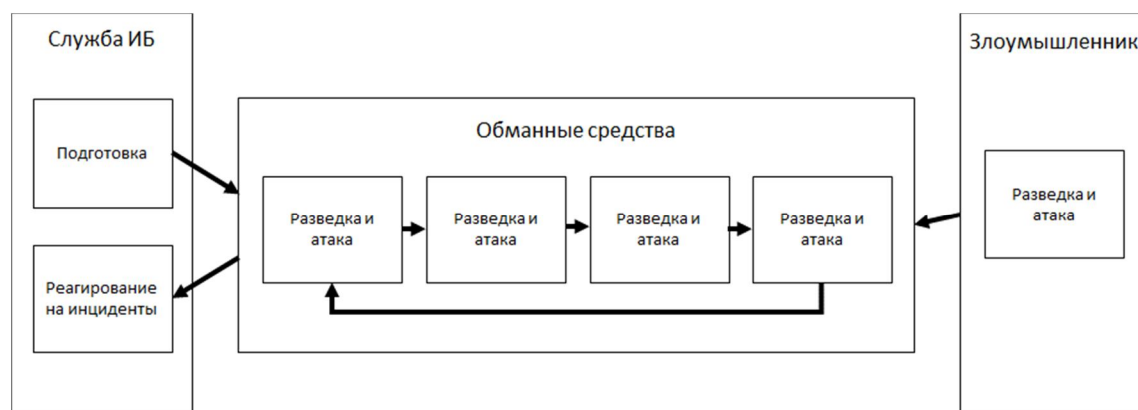


Рисунок 1 – Принцип работы deception-систем

Обзор систем класса distributed deception platform. На сегодняшний день каждая из задач обеспечения кибербезопасности решается огромным числом различных систем, в числе которых: NGFW (Next Generation Firewall), SIEM [11] (Security Incident and Event Management), EPP (Endpoint Protection Platform), EDR (Endpoint Detection and Response) и т.д. [10].

Каждая из этих систем нацелена на прямую защиту существующих ИТ активов организации с помощью непосредственного встраивания между целевой системой и атакующим. Главное предположение, исходя из которого строится защита, является безусловная уверенность в том, что атака проводится на реальный ИТ актив. Одной из таких технологий защиты является Distributed Deception Platform (DDP) или распределённые платформы для имитации инфраструктуры [10].

В таблице 1 приведено сравнение современных DDP, основанное на таблице сравнения Deception Techniques [13].

Таблица 1 – Сравнительный анализ существующих deception-платформ

	TrapX Deceptiongrid Platform	CYMMETRIA'S Ma- zeRunner	CYBERT RAP	ATTIVO NET- WORKS ThreatDe- fend Platform	Guar- di- Core Cen- tra Se- curi- ty Plat- form	ILLUSI- VE Plat- form	Acalvio shadow- plex	FIDELIS Elevate	Illusion BLACK
Deception токены (под- дельные ОС)	Windows Linux	Windows	Windows	Windows Linux Mac		Windows	Windows	Windows	Windows
Интеграция веб- приложений			+						+
Обнаруже- ние команд- ных центров, MITM и бот-сетей	Обнару- жение команд- ных цен- тров + обнару- жение атак MITM + ботнет- детектор	Обнару- жение атак MITM		Обнару- жение команд- ных центров + Обна- ружение атак MITM + ботнет- детектор				Обнару- жение команд- ных центров + бот- нет- детектор	
Этапы обна- ружения атак	Разведка Боковое движение Эксфиль- трация	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация		Разведка Боковое движе- ние	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация	Разведка Боковое движе- ние Эксфиль- трация

Продолжение таблицы 1

Приманки для специфической отрасли	+			+		+			
NAC интеграция	+			+		+	+		
Тип ловушек	Ловушки на базе полноценной ОС + наличие эмулированных сенсоров	Ловушки на базе полноценной ОС + наличие эмулированных сенсоров	Ловушки на базе полноценной ОС	Ловушки на базе полноценной ОС + наличие эмулированных сенсоров	Ловушки на базе полноценной ОС	Ловушки на базе полноценной ОС	Ловушки на базе полноценной ОС + наличие эмулированных сенсоров	Наличие эмулированных сенсоров	Ловушки на базе полноценной ОС + наличие эмулированных сенсоров
Корреляция результатов	SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	Встроенные средства корреляции		SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	SIEM интеграция + встроенные средства корреляции	SIEM интеграция
Интеграция Endpoint	+			+		+	+	+	+
EDR	+			+			+		
Оркестровка	+			+			+		
Active Directory	+			+		+	+	+	+
База данных	+		+	+			+		+
Общий сетевой ресурс	+			+			+		+
Облачные среды	AWS Azure OpenStack	+	Доступен SaaS	AWS Azure OpenStack GCP	AWS Azure OpenStack Доступен SaaS		AWS Azure OpenStack		
Адаптация под нужды пользователя	Конструктор пользовательских ловушек + использование пользовательских образов			Конструктор пользовательских ловушек + использование пользовательских образов		Использование пользовательских образов	Использование пользовательских образов		
API	Наличие открытого API для интеграции + REST API			REST API			Наличие открытого API для интеграции + REST API		
Возможности анализа вредоносного ПО	Интеграция Sandbox + Автоматический анализ кода			Интеграция Sandbox			Интеграция Sandbox		
Интеграция с промышленными системами	POS ATM SCADA IoT	IoT		POS SCADA IoT			SCADA IoT	SCADA	IoT

Сравнивая между собой распределенные deception-платформы, можно заключить, что наибольшими функциональными возможностями обладает DDP-система TrapX Deceptiongrid Platform.

Обзор систем Honeypot. Технология honeypot представляет из себя кибер-ловушку, включающую в себя одну или несколько уязвимостей программного обеспечения, то есть является приманкой для злоумышленников. Теоретически идея скрытых ловушек была придумана ещё давно, но в настоящее время существует не так много практических решений. Основное преимущество данной технологии в том, что её можно настроить практически под любую систему.

Honeypot может выполнять различный спектр задач:

- 1) определять начало атаки;
- 2) предотвращать атаки;
- 3) оказывать содействие в расследовании инцидентов информационной безопасности;
- 4) собирать информацию о действиях злоумышленников;

Существует 2 вида ловушек:

- 1) исследовательские. Помогают собирать данные о злоумышленниках;
- 2) промышленные. Предназначены для обнаружения, предотвращения атак и помощи в расследовании инцидентов информационной безопасности.

В технологии Honeypot есть критерий интерактивности, которая определяет возможности злоумышленника при успешной компрометации системы. Чем больше интерактивность, тем больше возможностей у злоумышленника. Как правило, в исследовательских ловушках интерактивность гораздо выше, чем в промышленных.

Преимущества технологии honeypot:

1. Honeypot не требовательны к ресурсам сети, так как отвечают только на запросы, направленные непосредственно ей.
2. Honeypot в случае компрометации способны предоставить отпечаток всех действий злоумышленника.
3. Данной технологии характерны сравнительно низкие показатели вероятностей отказов и ложных срабатываний.

Однако, как и любая технология, Honeypot имеет и свои недостатки:

1. Настройка параметров Honeypot довольно сложная техническая задача, которую приходится решать вручную.
2. Для данной технологии свойственна пассивность, так как злоумышленник должен сам выбрать цель для атаки.
3. Использование Honeypot предполагает выделение некоторого количества ресурсов сети.

Общая архитектура сети приманок honeynet приведена на рисунке 2.

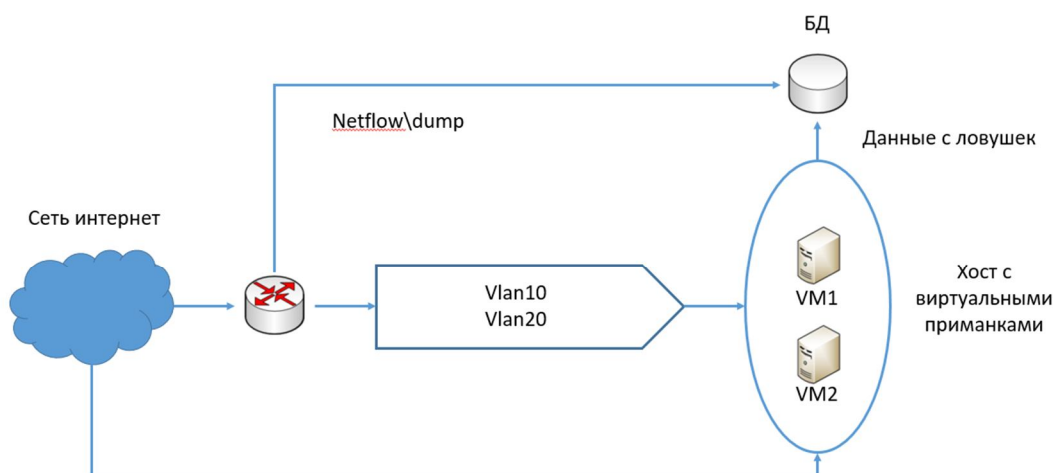


Рисунок 2 – Общая архитектура Honeynet

На данном рисунке вместо множества произвольного числа виртуальных машин VM1, VM2 могут быть реальные физические устройства, порты, сервисы. Весь сетевой трафик, приходящий на сеть с honeypot, записывается в базу данных, также в базу данных записываются данные с приманок. Для обеспечения большей безопасности ловушки располагаются в отдельном сегменте сети.

Исторически первой архитектурой honeynet была сеть Gen I. Данную архитектуру возможно использовать только в исследовательских целях для изучения методов работы злоумышленников. Схема данной сети приведена на рисунке 3.

Хронологическим продолжением сети Gen I стала сеть Gen II. Для Gen II характерно разделение сети на 2 сегмента: сегмент внутренней сети с рабочими сервисами, АРМ, серверами и сегмент сети приманок. Стоит выделить сенсор honeypot, который регистрирует вредоносную активность и совместно с маршрутизатором перенаправляет вредоносный трафик в сегмент сети приманок. Архитектура Gen II представлена на рисунке 4.

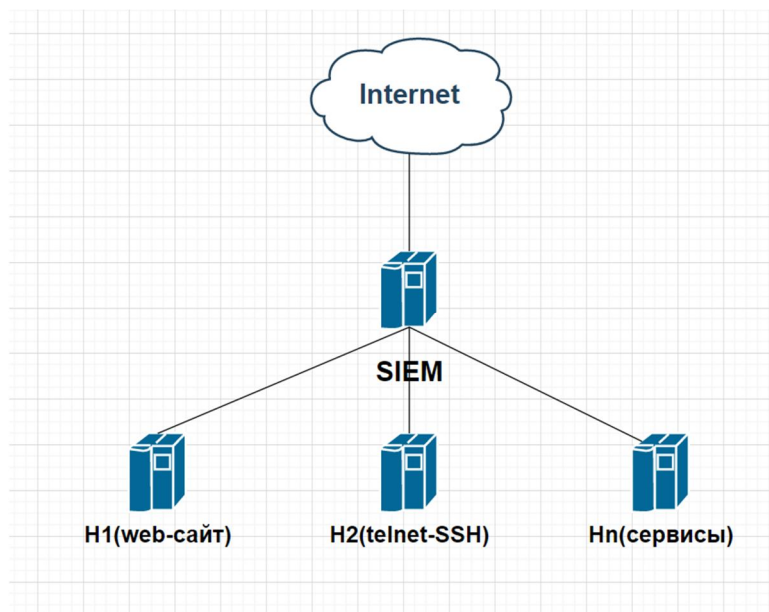


Рисунок 3 – Архитектура сети Gen I

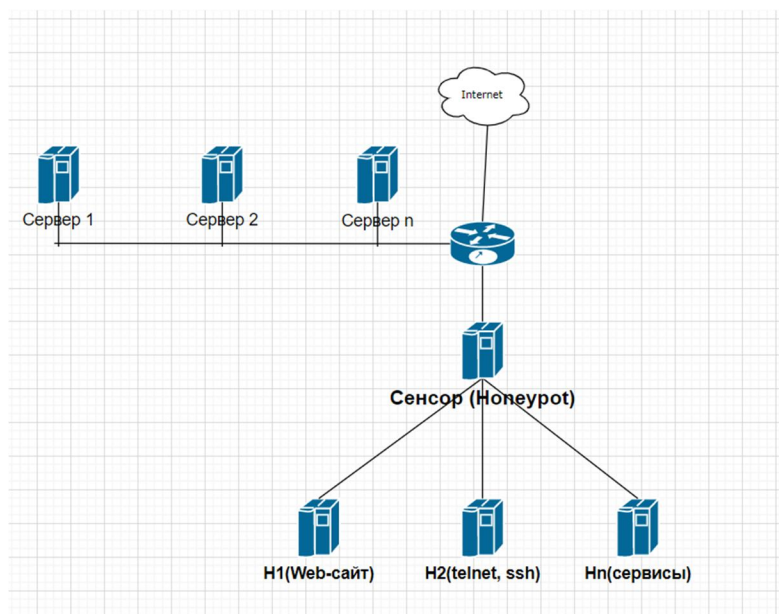


Рисунок 4 – Схема Gen II

Благодаря сенсору Honeybot в архитектуре Gen II становится возможным перенаправление вредоносного трафика в сегмент сети с Honeybot-системами. В отличие от Gen I, архитектуру данной системы можно использовать не только в научно-исследовательских целях, но и интегрировать в уже функционирующие промышленные системы. То есть данный Honeynet приобретает функциональные возможности deception-систем. Однако данная архитектура не получила широкого распространения из-за сложностей, связанных с обнаружением вредоносного трафика.

Исследование. В настоящий момент существуют ловушки как с открытым исходным кодом, так и закрытые. Произведен сравнительный анализ наиболее популярных ловушек с открытым исходным кодом по следующим критериям [1]:

1. *Процесс установки и настройки* – характеризует время и усилия настройки системы. То есть чем сложнее Honeypot и чем обширнее задачи, которые он выполняет, тем выше данный параметр. Простой процесс установки не включает в себя требований по конфигурированию или заданию дополнительных параметров работы средства Honeypot, средний – требует установки или выбора ограниченного числа параметров (например, выбор варианта имитируемого сервиса) для корректной работы средства, сложный – необходима достаточно детальная настройка (обычно сопряженная с установкой), задание большого числа дополнительных параметров функционирования средства Honeypot.

2. *Процесс использования и поддержки* – характеризует время и усилия при использовании и поддержке Honeypot после процесса установки и настройки. Очевидным образом следует, что чем выше функциональность Honeypot, тем сложнее его использование, и тем больше времени и усилий требует его поддержка. Простой процесс использования и поддержки подразумевает минимальное количество времени, необходимое для поддержки средства, а также простоту в использовании (например, для корректного использования необходимо лишь запустить программу). Средний уровень добавляет в процесс использования дополнительные действия, направленные на настройку Honeypot в процессе функционирования, необходимость участия администратора для корректировки поведения и т.п. Сложный уровень включает в себя необходимые действия в использовании и последующей поддержке средства (например, обновление программного обеспечения, восстановление окружения для дальнейшего исследования после того, как было произведено взаимодействие).

3. *Уровень протоколирования* – характеризует степень детализации, с которой будет произведено протоколирование. Чем выше уровень протоколирования, тем большую детализацию имеют записи протокола программы. Низкий уровень протоколирования определяется небольшим уровнем подробности собранных данных. Как правило, данным уровнем обладают средства Honeypot слабого взаимодействия, когда протоколируются только IP-адрес источника взаимодействия и данные, исходящие от злоумышленника. Средний уровень протоколирования может включать в себя протокол обеих сторон взаимодействия, а также дополнительные данные (например, конкретное время прихода данных, идентификаторы взаимодействий и т.п.). Высоким уровнем протоколирования обладают Honeypot сильного взаимодействия, когда средство берет на себя обязанность протоколировать все события, происходящие в системе при взаимодействии.

4. *Уровень имитации* – характеризует степень имитации сервиса. Простой уровень имитации подразумевает практически полное отсутствие поддержки функциональности имитируемого сервиса (например, возможность выводить только приветственное сообщение при соединении). Средний уровень подразумевает достаточно подробную имитацию сервиса с учетом особенностей его работы. Высокий уровень имитации предполагает полную реализацию всех функциональных возможностей сервиса (по сути, происходит приближение к эмуляции сервиса). При использовании реальных операционных систем уровень имитации – высокий. В данную характеристику также включается уровень имитации поведения при реакции на попытку атаки.

5. *Уровень риска* – характеризует степень риска при использовании Honeypot. Чем больше функциональных возможностей предоставляет Honeypot, тем выше вероятность, что Honeypot может быть использован для атаки других систем или сервисов. Низкий уровень риска включает в себя возможную атаку только против имитируемого сервиса. Средним уровнем риска обладают средства Honeypot, имитирующие несколько сервисов одновременно. Высокий уровень риска – недостаток Honeypot сильного взаимодействия.

Сравнивались следующие Honeypot-системы:

1. *Cowrie*. Cowrie – это SSH и Telnet honeypot со средним и высоким уровнем взаимодействия, предназначенные для регистрации атак методом перебора и взаимодействия злоумышленника с оболочкой командной строки. В режиме среднего взаимодействия (shell) он эмулирует систему UNIX на Python, в режиме высокого взаимодействия (proxy) он функционирует как SSH и Telnet прокси для наблюдения за поведением злоумышленника в другой системе.

Возможности:

- поддельная файловая система с возможностью добавления и удаления файлов;
- возможность добавления поддельных файлов, чтобы дать злоумышленнику возможность взаимодействия с ним;
- использование как прокси-сервера для повышения интерактивности. Ловушка выступает в роли монитора и собирает сведения об активности злоумышленника.

2. *Kippo*. Kippo – это SSH-ловушка со средней интерактивностью, предназначенная для регистрации атак методом перебора и взаимодействия злоумышленника с оболочкой.

3. *Glastopf*. Данный Honeypot является веб-приложением. Реализован на языке Python версии 2.7, имеет открытый исходный код, доступный по ссылке <https://github.com/mushorg/glastopf>. Приложение, которое имитирует данная ловушка, может быть дописано или вовсе переделано в зависимости от нужд пользователей.

4. *Google Hack Honeybot*. Старый проект от корпорации Google. В настоящее время никем не поддерживается и не развивается. В итоговую сравнительную таблицу данный Honeypot не попал.

5. *Formidable Honeybot*. Является дополнением для системы управления контентом Wordpress. Предназначен для защиты от спама форм обратной связи с пользователями сайта. Для работы с данным расширением необходимо установить еще одно расширение для работы с формами обратной связи – «Formidable Forms» и установить саму Formidable Honeybot на систему управления сайтом Wordpress. После чего, как заверяют авторы, все формы обратной связи будут надежно защищены от спама.

6. *Blackhole for Bad Bots*. Расширение для системы управления контентом Wordpress. Предназначен для защиты сайта от зловредных ботов. Расширение работает весьма просто: для начала в файле robots.txt указываются те директории и страницы сайта, на которые доступ запрещен. Далее если же бот перейдет хотя бы по одной запрещенной ссылке, то данный бот более не сможет работать с данным сайтом. Однако при использовании различных анонимайзеров и средств VPN/Прoxy данное ограничение можно обойти.

7. *Wordpot*. Представляет собой ловушку для системы управления контентом WordPress.

8. *HoneyThing*. Представляет из себя Honeypot интернета вещей. Поддерживает такие протоколы, как HTTP и CoMP. В настоящее время проект не поддерживается и не развивается, к тому же отсутствует внятная и понятная документация по установке и настройке. Последний комит был сделан 5 лет назад. В ходе анализа данной ловушки авторы пришли к выводу, что код проекта придется переписывать заново.

Авторами статьи было принято решение не включать данный Honeypot в итоговую таблицу.

9. *Dionaea*. Это Honeypot-система была разработана в рамках проекта Google Summer of Code в далеком 2009 году. Dionaea имеет модульную архитектуру, Python используется для эмуляции сетевых протоколов.

10. *Miniprint*. Данный Honeypot эмулирует работу сервера печати.

11. *Honeybot-ft*. Данный FTP Honeypot предлагает полную поддержку таких протоколов, как ftp и ftps. Данная ловушка позволяет производить полный мониторинг действий злоумышленника, начиная от несанкционированных попыток авторизации и заканчивая возможностью просмотра загруженных злоумышленником файлов для каждого сеанса FTP/FTPS.

В рамках исследования производилась установка и настройка, а также атака на каждую Honeypot-систему, по результатам которых были даны качественные показатели по описанным выше критериям. Оценки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение наиболее популярных систем-приманок

Имя приманки	Процесс установки и настройки	Процесс использования и поддержки	Уровень протоколирования	Уровень имитации	Уровень риска	Протокол(ы), сервис(ы), приложения
Cowrie	Средний	Средний	Высокий	Средний в режиме shell Высокий в режиме проху	Низкий в режиме shell Высокий в режиме проху	ssh, telnet
Kippo	Низкий	Средний	Высокий	Средний	Низкий	ssh, telnet
Glastopf	Высокий	Средний	Средний	Высокий	Низкий	Web-application
Formidable Honeybot	Низкий	Простой	Низкий	Высокий	Высокий	Расширение для системы управления контентом Wordpress

Продолжение таблицы 2

Blackhole for Bad Bots	Низкий	Простой	Низкий	Средний	Средний	Расширение для системы управления контентом Wordpress
Wordpot	Низкий	Простой	Низкий	Высокий	Низкий при грамотной настройке	80, 443 Web-ресурс
Dionaea	Сложный	Средний	Высокий	Высокий	Низкий	http, ftp, sip, smb, tftp, upnp, pptp, mssql, mqtt, memcache, ermap, blackhole
Miniprint	Простой	Простой	Высокий	Средний	Низкий	Сетевой принтер
Honeypot-ftp	Средний	Средний	Высокий	Высокий	Средний	ftp/ftps
telnet-iot-honeypot	Низкий	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий	telnet

Сравнительный анализ методом анализа иерархий представлен на рисунке 5. Результатом приведенного сравнения стали 10 Honeypot-систем с качественными оценками критериев. Переводя качественные оценки в количественные и сравнивая системы между собой методом иерархий, выбирается наиболее оптимальная Honeypot-система. Результаты анализа приведены в таблице 3.

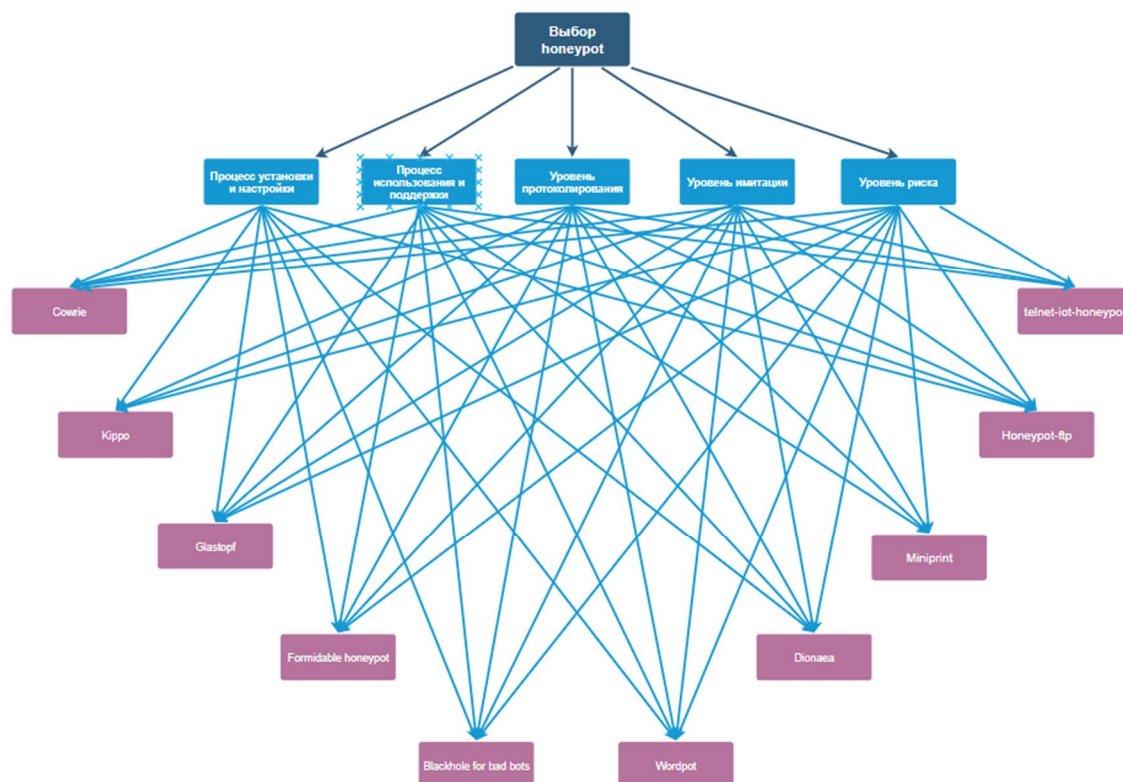


Рисунок 5 – Иерархия целей

В результате проведённого анализа нами определены наиболее оптимальные системы – Cowrie, Kippo и Glustopf. Далее с использованием системы Cowrie и дополнительного аппаратного обеспечения проведем разработку deception-комплекса для IoT-устройств.

Таблица 3 – Определение глобального приоритета альтернатив

	Процесс установки и настройки	Процесс использования и поддержки	Уровень протоколирования	Уровень имитации	Уровень риска взлома	Оценка
Норм. вектор приоритетов	0,0384	0,0717	0,2518	0,2164	0,4215	
Cowrie	0,042	0,041	0,2064	0,2729	0,043	0,13370408
Kippo	0,026	0,068	0,1588	0,1998	0,218	0,18098356
Glastopf	0,022	0,2448	0,0884	0,0635	0,223	0,14839198
Formidable Honeypot	0,256	0,1155	0,0564	0,071	0,019	0,05568617
Blackhole for Bad Bots	0,223	0,0877	0,1449	0,0907	0,03	0,08360959
Wordpot	0,054	0,1998	0,0217	0,1199	0,048	0,06804168
Dionaea	0,052	0,012	0,2945	0,0882	0,079	0,12939728
Miniprint	0,136	0,109	0,067	0,0502	0,0997	0,08279513
Honeypot-ftp	0,1	0,054	0,035	0,0365	0,1263	0,07765885
telnet-iot-honeypot	0,084	0,065	0,056	0,01272	0,111	0,0713702

Адаптация ловушек под уровень IoT. Адаптации cowrie под raspberry pi в режиме shell.

1. Установка зависимостей:

```
$ sudo apt-get install git python-virtualenv libssl-dev libffi-dev build-essential libpython3-dev python3-minimal authbind virtualenv -y
```

2. Создание пользователя cowrie:

```
$ sudo adduser --disabled-password cowrie
$ sudo su - cowrie
```

3. Скачиваем исходный код проекта с репозитория github:

```
$ git clone http://github.com/cowrie/cowrie
$ cd cowrie
```

4. Установка и активация виртуального окружения:

```
$ virtualenv --python=python3 cowrie-env
$ source cowrie-env/bin/activate
$ pip install --upgrade pip
$ pip install --upgrade -r requirements.txt
```

5. Конфигурация cowrie:

Произведем настройку cowrie

```
$ nano etc/cowrie.cfg.dist
```

Изменим имя хоста с svr04 на raspberry. Пример показан на рисунке 6.

```
cowrie@rasberry ~
Файл Правка Вкладки Справка
cowrie@ras... ✕ cowrie@ras... ✕
GNU nano 3.2 cowrie.cfg.di
# logging modules such as mysql.
#
# If not specified, the logging modules will instead use the IP address of the
# server as the sensor name.
#
# (default: not specified)
#sensor_name=myhostname
#
# Hostname for the honeypot. Displayed by the shell prompt of the virtual
# environment
#
# (default: svr04)
hostname = raspberry
#
# Directory where to save log files in.
^G Помощь ^O Записать ^W Поиск ^K Вырезать ^J Вывернуть ^C
^X Выход ^R ЧитФайл ^\ Замена ^U Отмен. вырезк ^T Словарь ^_
```

Рисунок 6 – Настройка cowrie под raspberry pi

Далее создадим файл `userdb.txt` в директории `etc`. В данном файле будут находиться пользовательские учетные данные, по которым злоумышленник, перебирая комбинации логин/пароль, будет производить попытки подключения к Honeypot.

```
$ touch etc/userdb.txt
$ nano etc/userdb.txt
```

В данном файле внесем одну запись, благодаря которой злоумышленник сможет успешно подключаться к cowrie практически с паролем от пользователя `pi`. Пример показан на рисунке 7.

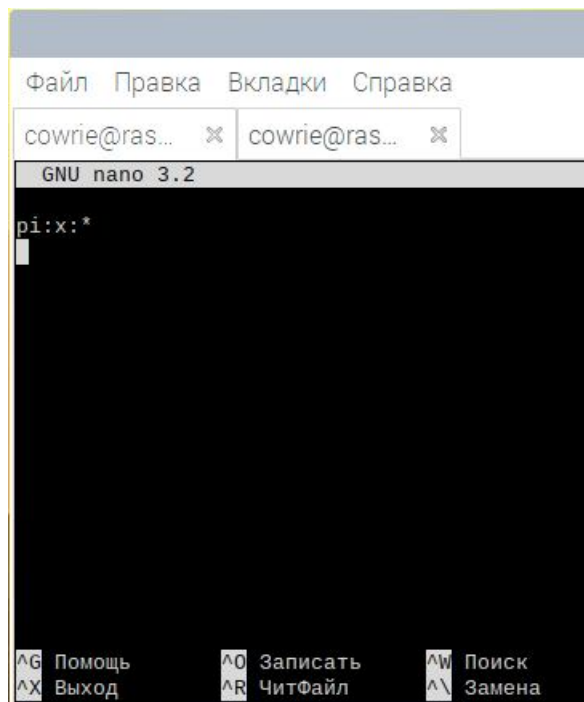


Рисунок 7 – Создание записи в файле `userdb.txt`

6. Для запуска достаточно выполнить следующую команду:

```
$ bin/cowrie start
```

7. Настройка порта 22.

Разработчики предусмотрели возможность настраивания cowrie таким образом, чтобы злоумышленники производили атаки на порт № 22, так как этот порт является стандартным портом ssh. Существуют 3 варианта установки cowrie на порт № 22, рассмотрим их:

7.1. Проброс портов через утилиту iptables. Для этого от имени пользователя root достаточно выполнить команду

```
$ sudo iptables -t nat -A PREROUTING -p tcp --dport 22 -j REDIRECT --to-port 2222
```

После выполнения данной команды злоумышленник сможет подключаться к ловушке на порт № 22.

7.2. С помощью программы authbind. Для этого надо выполнить следующие команды:

```
$ sudo apt-get install authbind
$ sudo touch /etc/authbind/byport/22
$ sudo chown cowrie:cowrie /etc/authbind/byport/22
$ sudo chmod 770 /etc/authbind/byport/22
```

Далее в файле `cowrie.cfg` в настройках ssh надо поменять поле `listen_endpoints = tcp: 2222 : interface= 0.0 .0.0` на `listen_endpoints = tcp: 22 : interface= 0.0 .0.0`

7.3. Или использовать Setcap для того, чтобы дать возможность интерпретатору Python слушать порты, порядковый номер которых меньше, чем 1024.

В результате при подобной конфигурации при попытках подключения злоумышленника к cowrie будет производиться имитация подключения к устройству raspberry pi. А со стороны специалистов по информационной безопасности будут доступны сведения об активности злоумышленника (рис. 8 и 9).

```

192.168.1.68 - PuTTY
login as: pi
pi@192.168.1.68's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$
pi@raspberrypi:~$ ls
pi@raspberrypi:~$ pwd
/home/pi
pi@raspberrypi:~$ whoami
pi
pi@raspberrypi:~$

```

Рисунок 8 – Пример успешного подключения злоумышленника к cowrie

```

2020-05-12T20:36:39.096897Z [SSHSservice b'ssh-userauth' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] b'pi' trying auth b'password'
2020-05-12T20:36:39.097554Z [SSHSservice b'ssh-userauth' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] login attempt [b'pi'/b'asdasd'] succeeded
2020-05-12T20:36:39.098035Z [SSHSservice b'ssh-userauth' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] Initialized emulated server as architecture: linux-x86_64-lsb
2020-05-12T20:36:39.098477Z [SSHSservice b'ssh-userauth' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] b'pi' authenticated with b'password'
2020-05-12T20:36:39.098672Z [SSHSservice b'ssh-userauth' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] starting service b'ssh-connection'
2020-05-12T20:36:39.099290Z [SSHSservice b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] got channel b'session' request
2020-05-12T20:36:39.099524Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] channel open
2020-05-12T20:36:39.146455Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] pty request: b'xterm' (24, 80, 0, 0)
2020-05-12T20:36:39.146570Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] Terminal Size: 80 24
2020-05-12T20:36:39.147079Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] getting shell
2020-05-12T20:36:40.550695Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] CMD:
2020-05-12T20:36:40.762627Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] CMD:
2020-05-12T20:36:41.848549Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] CMD: ls
2020-05-12T20:36:41.848962Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] Command Found: ls
2020-05-12T20:36:42.725191Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] CMD: pwd
2020-05-12T20:36:42.725696Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] Command Found: pwd
2020-05-12T20:36:49.816385Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] CMD: whoami
2020-05-12T20:36:49.816775Z [SSHSchannel session (0) on SSHService b'ssh-connection' on HoneyPotSSHTransport,0,192.168.1.70] Command Found: whoami
cowrie@raspberrypi:~/cowrie/var/log/cowrie $

```

Рисунок 9 – Информационное окно cowrie при успешной компрометации

Выводы. Существующие на данный момент времени подложные информационные системы весьма обширны и выполняют свои функции. Эти системы вполне реально использовать и как монорешения, устанавливая на виртуальных частных серверах и внедряя в существующую сеть. С помощью такого класса устройств можно разворачивать целые сети, состоящие целиком и полностью из подложных устройств.

Однако в настоящее время не существует honeypot-системы, которая работала бы достаточно приемлемо на уровне устройств интернета вещей. Они имеют недостатки, что затрудняет их применение в практических целях. В большинстве своем данные ловушки морально устарели и требуют существенных доработок и модернизации. Например, упомянутый ранее в статье HoneyThing нуждается как в документации по установке и использованию, так и существенной модернизации своих функций. А telnet-iot-honeypot, несмотря на предоставляемые возможности для регистрации действий злоумышленника, очень легко раскрывается, так как отсутствует полноценная среда для взаимодействия злоумышленника с системой.

Сейчас очень важно разработать honeypot-систему интернета вещей, так как угрозы в этой области становятся все более опасными и массовыми. Это связано с тем, что безопасность интернета вещей на данный момент времени пребывает на низком уровне. С целью повышения уровня безопасности и уменьшения рисков киберугроз целесообразно развернуть honeypot, который будет производить сбор данных действий злоумышленников. На основе этих данных можно выявлять актуальные угрозы в сегменте интернета вещей и обеспечить защиту данных устройств своевременным выпуском обновлений системного и прикладного ПО.

Есть частные случаи проектирования отдельных honeypot-сетей с использованием реального и дорогостоящего оборудования [7], что значительно увеличивает обнаружение новой уязвимости и/или нового вектора атаки на устройства интернета вещей. Для проектирования такого рода сетей-приманок достаточно эмулирования реальных физических устройств. С появлением новых IoT honeypot стоимость выявления новой уязвимости или нового вектора атаки значительно снизится.

Для компаний, специализирующихся на разработке антивирусного ПО, актуально выявление новых уязвимостей и новых векторов атак на устройства интернета вещей. Единственно верной и действенной мерой для этого будет создание устройств приманок на уровне IoT.

Библиографический список

1. Алейнов Ю. В. Обнаружение атак направленного типа в компьютерных сетях при помощи ложных сетевых объектов / Ю. В. Алейнов // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2015. – № 24. – С. 52–57.
2. Врагова Е. В. Методы и средства защиты от botnet's (зомби-сетей) / Е. В. Врагова, Л. И. Воронова // Телекоммуникации и информационные технологии. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 112–116.
3. Куцовол Т. С. Технология honeypot как превентивный метод от сетевых атак / Т. С. Куцовол, И. С. Павлов // Меридиан. – 2019. – № 14 (32). – С. 45–47.
4. Хусни. Спектральный анализ трафика сети «honeypot» / Хусни // Труды СПИИРАН. – 2008. – № 7. – С. 177–180.
5. Как настроить собственный honeypot. – Режим доступа: <https://www.anti-malware.ru/practice/solutions/How-To-Setup-Your-Own-Honeypot>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Киберкомандование США провело операцию против одного из крупнейших ботнетов Trickbot <https://www.securitylab.ru/news/512912.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Невыразимо привлекателен: как мы создали ханипот, который нельзя разоблачить. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/trendmicro/blog/490406/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Обзор распределенных платформ для имитации инфраструктуры. Distributed Deception Platform. – Режим доступа: https://ko.com.ua/obzor_raspredelyonnyh_platform_dlya_imitacii_infrastruktury_distributed_deception_platform_ddp_127165, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Обман злоумышленников с помощью ловушек TrapX DeceptionGrid. – Режим доступа: <https://www.anti-malware.ru/practice/methods/TrapX-DeceptionGrid>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Обзор рынка платформ для создания распределенной инфраструктуры ложных целей (Distributed Deception Platform). – Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/Distributed-Deception-Platform, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. Рус
11. Очередыко А. Р. Исследование siem-систем на основе анализа механизмов выявления кибератак / А. Р. Очередыко, В. С. Герасименко, М. М. Путьто, А. С. Макарян // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – С. 25–31. – Режим доступа: <http://vestnik.adygnet.ru/files/2020.2/6312/25-31.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
12. Сравнение технологий имитации и ловушек. – Режим доступа: <https://roi4cio.com/produktiy/sravnit/?template=28&p%5B1724%5D=1724&p%5B1646%5D=1646&p%5B1640%5D=1640&p%5B1638%5D=1638&p%5B1648%5D=1648&p%5B1650%5D=1650&p%5B1652%5D=1652&p%5B1654%5D=1654&p%5B1656%5D=1656>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Технология honeypot. Часть 1: Назначение honeypot. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/275420.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Технология honeypot. Часть 2: Классификация honeypot. – Режим доступа: <https://www.securitylab.ru/analytics/275775.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Угрозы интернета вещей и возможные методы защиты. – Режим доступа: <https://os.kaspersky.ru/2019/03/13/ugrozy-interneta-veshhey-i-vozmozhnye-me/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. Honeynet Project: ловушка для хакера. – Режим доступа: <http://citforum.ru/security/internet/honeynet/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Aleynov Yu. V. Obnaruzhenie atak napravlennoogo tipa v kompyuternykh setyakh pri pomoshchi lozhnykh setevykh obektov. [Intrusion detection directions of the in-computer networks using false network objects]. *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to threats of terrorism], 2015, no. 24, pp. 52–57.
2. Vragova E. V., Voronova L. I. Metody i sredstva zashchity ot botnet's (zombi-setey) [Methods and means of protection from botnets (zombie-networks)]. *Telekommunikatsii i informatsionnye tekhnologii* [Telecommunications and information technology], 2018, vol. 5, no. 1, pp. 112–116.
3. Kutsovol T. S., Pavlov I. S. Tekhnologiya honeypot kak preventivnyy metod ot setevykh atak. [Honeypot technology as a preventive method against network attacks]. *Meridian* [Meridian], 2019, no. 14 (32), pp. 45–47.
4. Khusni. Spektralnyy analiz trafika seti «honeypot» [Spektral analysis of honeypot network traffic]. *Trudy SPIIRAN* [SPIIRAS Proceedings], 2008, no. 7, pp. 177–180.
5. *Kak nastroit sobstvennyy honeypot* [How to set up your own honeypot]. Available at: <https://www.anti-malware.ru/practice/solutions/How-To-Setup-Your-Own-Honeypot>

6. Kiberkomandovanie SSHa provelo operatsiyu protiv odnogo iz krupneyshikh botnetov Trickbot [The US cyber command conducted an operation against one of the largest botnets Trickbot]. Available at: <https://www.securitylab.ru/news/512912.php>
7. Nevvyrazimo privlekatelen: kak my sozdali hanipot, kotoryy nelzya razoblachit [Unspeakably attractive: how we created a honeypot that can't be exposed]. Available at: <https://habr.com/ru/company/trendmicro/blog/490406/>
8. Obzor raspredelennykh platform dlya imitatsii infrastruktury. Distributed Deception Platform [Overview of distributed platforms for infrastructure simulation. Distributed Deception Platform]. Available at: https://ko.com.ua/obzor_raspredelyonnyh_platform_dlya_imitatsii_infrastruktury_distributed_deception_platform_ddp_127165
9. Obman zloumyshlennikov s pomoshchyu lovushek TrapX DeceptionGrid [Deception of intruders using TrapX DeceptionGrid traps]. Available at: <https://www.anti-malware.ru/practice/methods/TrapX-DeceptionGrid>
10. Obzor rynka platform dlya sozdaniya raspredelennoy infrastruktury lozhnykh tseley (Distributed Deception Platform) [Market overview of platforms for creating distributed infrastructure for false goals (Distributed Deception Platform)]. Available at: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/Distributed-Deception-Platform
11. Ochelyko A. R., Gerasimenko V. S., Putyato M. M., Makaryan A. S. Issledovanie siem-sistem na osnove analiza mekhanizmov vyavleniya kiberatak [Research of siem-systems based on the analysis of mechanisms for detecting cyberattacks]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences], 2020, pp. 25–31. Available at: <http://vestnik.adygnet.ru/files/2020.2/6312/25-31.pdf>
12. Sravnenie tekhnologiy imitatsii i lovushek [Comparison of simulation technologies and traps]. Available at: <https://roi4cio.com/produkty/sravnit/?template=28&p%5B1724%5D=1724&p%5B1646%5D=1646&p%5B1640%5D=1640&p%5B1638%5D=1638&p%5B1648%5D=1648&p%5B1650%5D=1650&p%5B1652%5D=1652&p%5B1654%5D=1654&p%5B1656%5D=1656>
13. Tekhnologiya honeypot. Chast 1: Naznachenie honeypot [Honeypot technology. Part 1: The purpose of the honeypot]. Available at: <https://www.securitylab.ru/analytics/275420.php>
14. Tekhnologiya honeypot. Chast 2: Klassifikatsiya honeypot [Honeypot technology. Part 2: Honeypot classification]. Available at: <https://www.securitylab.ru/analytics/275775.php>
15. Ugrozy interneta veshchey i vozmozhnye metody zashchity [Threats to the Internet of things and possible protection methods]. Available at: <https://os.kaspersky.ru/2019/03/13/ugrozy-interneta-veshchey-i-vozmozhnye-me/>
16. HoneyNet Project: lovushka dlya hakera [HoneyNet Project: a hacker's trap]. Available at: <http://citforum.ru/security/internet/honeyNet/>

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 004.5:004.8

ДВУХУРОВНЕВАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЕШИФРАТОРА ЭЛЕКТРОМИОСИГНАЛА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛИЗАЦИЕЙ ЭКЗОСКЕЛЕТА¹

Статья поступила в редакцию 10.07.2020, в окончательном варианте – 13.10.2020.

Трифонов Андрей Андреевич, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, корпус Б, аспирант, e-mail: voldraf@mail.ru

Филист Сергей Алексеевич, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, корпус Б, доктор технических наук, профессор, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1358-671X>, SCOPUS <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603139063>, ResearcherID <http://www.researcherid.com/rid/O-4610-2015>, e-mail: SFilist@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=251980

Кузьмин Александр Алексеевич, Юго-Западный государственный университет, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19, корпус Б, кандидат технических наук, доцент, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7980-0673>, SCOPUS <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36142241500>, ResearcherID <http://www.researcherid.com/rid/F-8405-2013>, e-mail: ku3bmin@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=616342

Жилин Валерий Вячеславович, Курский институт кооперации, филиал Белгородского университета потребительской кооперации, экономики и права, 305004, Российская Федерация, г. Курск, ул. Радищева, 116,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: vvzhilin61@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=321882

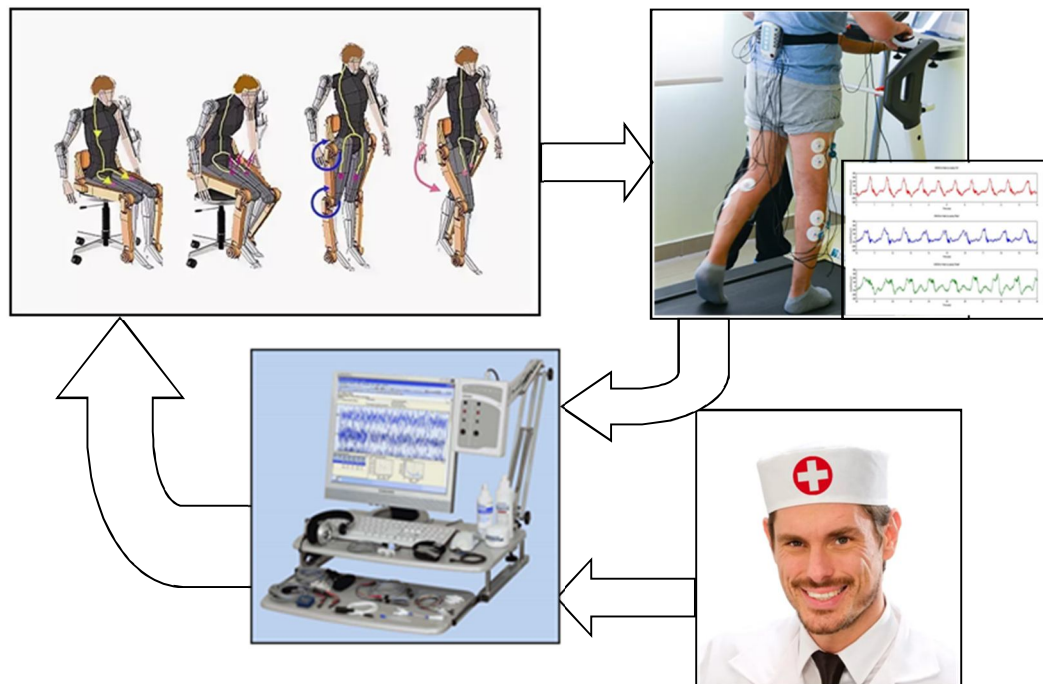
Петрунина Елена Валерьевна, Московский государственный гуманитарно-экономический университет, 107150, Российская Федерация, г. Москва, ул. Лосиноостровская, 49, кандидат технических наук, доцент, e-mail: petrunina@mggeu.ru

Представлена система управления экзоскелетом в биотехнической системе, предназначенной для восстановления двигательной активности мышц пациента. Сущность используемого метода управления экзоскелетом заключается в том, что при дешифрации электромиосигнала используются не только ее амплитудные показатели, но и частотные характеристики. Основанием для этого является то, что повышение двигательной активности приводит не только к увеличению амплитуды электромиосигнала, но и числа задействованных двигательных единиц. Так же как и в известных методах, с целью адаптации функционального состояния пациента и процесса вертикализации в дешифраторе используется множество дублирующих каналов электромиосигнала, связанных с мышцей или группами мышц, контролирующих движение одного и того же сустава конечностей. В результате этого на выходе классификатора каждого канала получаем число, соответствующее «уверенности» в команде управления серводвигателя экзоскелета. Для агрегации решений по каналам классификаторов все их выходы поступают на нечеткую нейронную сеть. Ее дефазификатор формирует управляющий сигнал на контроллер серводвигателя. В результате анализа этого сигнала контроллер определяет скорость и направление вращения двигателя. На основе базовой модели классификатора осуществлено управление движением экзоскелета в режиме «встать – сесть». Определено расположение электродов на группе мышц для осуществления режима вертикализации с комбинированным управлением. Показано, что упрощенная кинематическая модель режима вертикализации позволяет совместно с двухуровневой нейросетевой моделью дешифратора электромиосигнала осуществлять адаптацию реабилитационного процесса к функциональному состоянию пациента. Полученные модели классификаторов поверхностных сигналов электромиограмм могут быть использованы при построении интеллектуальных систем реабилитации пациентов с неврологическими заболеваниями. Это позволит разрабатывать адаптирующиеся стимулирующие программы, тестирование результатов работы которых даст возможность разработать новые методы и средства для реабилитации пациентов с неврологическими заболеваниями.

Ключевые слова: электромиосигнал, экзоскелет, дешифратор электромиосигнала, нейронная сеть, агрегатор решений, алгоритм, биотехническая система, адаптация реабилитационной системы к пациенту

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90112.

Графическая аннотация (Graphical annotation)



TWO-LEVEL NEURAL NETWORK MODEL OF ELECTROMIOSIGNAL DECODER IN EXOSCELETE VERTICALIZATION CONTROL SYSTEM

The article was received by the editorial board on 10.07.2020, in the final version – 13.10.2020.

Trifonov Andrey A., Southwest State University, building B, 19 Chelyuskintsev St., Kursk, 305004, Russian Federation,

postgraduate student, e-mail: voldraf@mail.ru

Filist Sergey A., Southwest State University, building B, 19 Chelyuskintsev St., Kursk, 305004, Russian Federation,

Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1358-671X>, SCOPUS <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603139063>, ResearcherID <http://www.researcherid.com/rid/O-4610-2015>, e-mail: SFilist@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=251980

Kuzmin Alexander A., Southwest State University, building B, 19 Chelyuskintsev St., Kursk, 305004, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7980-0673>, SCOPUS <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36142241500>, ResearcherID <http://www.researcherid.com/rid/F-8405-2013>, e-mail: ku3bmin@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=616342

Zhilin Valery V., Kursk Institute of Cooperation, a branch of the Belgorod University of Consumer Cooperation, Economics and Law, 116 Radishchev St., Kursk, 305004, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: vvzhilin61@gmail.com, https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=321882

Petrulina Elena V., Moscow State University of the Humanities and Economics, 49 Losinoostrovskaya St., Moscow, 107150, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: petrunina @ mggeu.ru

An exoskeleton control system in a biotechnological system designed to restore the motor activity of a patient's muscles is presented. The essence of the exoskeleton control method used is that when decoding the electromiosignal, not only its amplitude indicators, but also frequency characteristics are used, since it is known that an increase in motor activity leads not only to an increase in the amplitude of the electromiosignal, but also to an increase in the number of motor units involved. Also, as in the known methods, in order to adapt the patient's functional state and the verticalization process, the decoder uses many duplicate channels of electromiosignals associated with the muscle or muscle groups that control the movement of the same limb joint, resulting in the output of each classifier of the channel, we obtain the number corresponding to the confidence in the control command of the exoskeleton servomotor,

and for aggregation of decisions on the channels of classifiers, all outputs of the channel classifiers go to a fuzzy neural network, the defusifier of which generates a control signal to the servo motor controller, as a result of which analysis the controller determines the speed and direction of rotation. Based on the basic models of the classifier, the exoskeleton was controlled in the “stand up – sit down” mode. The location of the electrodes on the muscle group for the implementation of the verticalization mode with combined control is determined. It is shown that a simplified kinematic model of the verticalization mode allows, together with a two-level neural network model of an electromyosignal decoder, to adapt the rehabilitation process to the functional state of the patient. The obtained models of classifiers of surface signals of electromyograms can be used to build intelligent rehabilitation systems for patients with neurological diseases and will allow the development of adaptive stimulating programs, testing the results of which will allow developing new methods and tools for rehabilitation of patients with neurological diseases.

Keywords: electromyosignal, exoskeleton, decoder of electromyosignal, neural network, solution aggregator, algorithm, biotechnical system, adaptation of the rehabilitation system to the patient

Введение. В последние годы все большее распространение получили устройства, названные экзоскелетами (экзоскелетами), т.е. внешними скелетами. Основной задачей таких аппаратов является оказание помощи человеку при перемещении в пространстве, в том числе и при ходьбе. Однако они могут использоваться и на начальном этапе реабилитации пациентов путем их вертикализации, т.е. «перевода» пациентов из положения «сидя» в положение «стоя» [1].

Клиническое применение вертикализации доказало высокую ее эффективность в проведении реабилитационной терапии при самых различных неврологических нарушениях. Вертикализация позволяет эффективно улучшить и стабилизировать показатели работы сердечно-сосудистой системы, нормализовать процесс дыхания, улучшить подвижность мышц, активизировать работу и улучшить иннервацию опорно-двигательного аппарата. При этом вертикализация не только ускоряет процесс реабилитации, но и значительно снижает риск вторичных осложнений, связанных с длительной обездвиженностью пациента.

На рынке медицинского оборудования присутствуют многочисленные реабилитационные экзоскелеты. Однако на сегодняшний день нет эффективных алгоритмов, обеспечивающих устойчивое перемещение пациента в экзоскелете в процессе вертикализации. Открытыми остаются и вопросы математического моделирования поведения пациента в экзоскелете. Основной претензией к медицинским экзоскелетам со стороны специалистов является отсутствие возможности их адаптации к конкретному пациенту. Поэтому медики очень часто предпочитают более дешевые и эффективные средства реабилитации, использующие технологии вертикализации пациентов.

Для осуществления постинсультной реабилитации биотехническая система «экзоскелет – пациент» должна функционировать в комбинированном режиме. В определенный момент времени пациент занимает активное положение в системе и выполняет заданное движение самостоятельно. В другой момент времени пациент занимает в системе пассивное положение, и экзоскелет осуществляет заданное программно движение или движение, определяемое посредством декодирования электромиограммы (ЭМГ) пациента. В этом случае пациент совершает заданные движения с помощью экзоскелета, а биотехническая система определяет момент и размер необходимой помощи. Поэтому декодер электромиосигнала (ЭМС) должен определять не только тип движения и координаты конечности, но и усилие (момент), которое передается на соответствующий исполнительный орган экзоскелета.

Наиболее важная задача анализа ЭМС – необходимость найти информативные признаки (ИП), чтобы различать и классифицировать мышечные движения. ИП представляют текущий сигнал в виде кода с информацией о конкретном движении конечностей. Эта информация декодируется в декодере или классификаторе. Учитывая временные ограничения на расшифровку команды, исследователи предпочитают методы кодирования ЭМС во временной области на основе анализа амплитуд сигналов. Основным требованием к коду является его простота приема и скорость декодирования (классификация команды). Перечисляемые далее значения во временной области, измеренные как функции времени, используются в качестве ИП: интегральный ЭМС; среднее арифметическое ЭМС; среднее значение модуля сигнала; конечные разности отсчетов сигнала; сумма элементарных областей ЭМС; дисперсия ЭМС; стандартное отклонение ЭМС; длительность ЭМС; максимальное значение ЭМС. Более подробная информация о выборе признаков для классификации приведена в [3].

При реабилитации целесообразен комбинированный режим управления экзоскелетом, при котором последний выступает в качестве ассистента (помощника). В этом случае необходима информация о состоянии пациента, которая бы позволила определить размер необходимой ему помощи при выполнении тестовых движений. Эта информация позволит создать на серводвигателях экзоскелета минимальный момент, позволяющий уменьшить ошибки при позиционировании экзоскелета посредством серводвигателей, управляемых по командам, получаемым по результатам декодирования ЭМС. Таким образом, адаптация реабилитирующего экзоскелета к функциональному

состоянию пациента посредством анализа и декодирования поверхностных ЭМС является актуальной и важной для практики задачей.

Методы. Известно множество технических решений, позволяющих управлять экзоскелетом посредством биотехнической обратной связи [3, 4, 8, 10, 11, 13]. Для управления процедурой реабилитации необходимы модули принятия решений для расшифровки поверхностных ЭМГ. Обученные классификаторы используются в качестве таких модулей для обеспечения принятия решений. Классификаторы построены на основе моделей нейронных сетей, моделей нечеткого вывода или гибридных (гетерогенных) моделей [2, 5, 6, 7, 12]. В то же время обучающие выборки для обучения этих классификаторов формируются из базы данных, полученной в результате поискового анализа по открытым базам данных физиологических сигналов.

Для разработки методов кодирования ЭМС мы анализируем процесс генерации этих сигналов. Сигнал ЭМС должен поступать в декодер, который решает включить или нет исполнительный механизм, соответствующий команде, зашифрованной в этом сигнале. Если рассматривать сервомотор в качестве исполнительного механизма, то командный декодер состоит из двух двух-альтернативных классификаторов.

Амплитудные демодуляторы ЭМС были предложены в [13]. Для их реализации вводятся следующие показатели:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}, \quad (1)$$

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n|, \quad (2)$$

где N – ширина окна ЭМС, в котором вычисляется RMS или MAV ; x_n – значения отсчетов ЭМС в этом окне.

Модель декодера определяется моделью кодера. Если декодер основан на модели нейронной сети (NET), то количество входов NET определяется шириной окна N , шагом его перемещения вдоль сигнала ЭМС и частотой его дискретизации. В свою очередь выбор N определяется продолжительностью возбуждения двигательных единиц (ДЕ) работающей мышцы. При условии, что частота дискретизации ЭМС выбрана равной 500 Гц, мы получаем 25 выборок в интервале ширины окна.

Основным недостатком формирования ИП, согласно (1) и (2), является то, что в окне используются только амплитудные характеристики отсчетов сигнала. Это приводит к снижению информативности ЭМС и достаточно высокому уровню ошибок в классификации команд. Поэтому повышение точности классификации команд осуществляется за счет дублирования ЭМС по нескольким каналам и расшифровки сформированного таким образом вектора ИП посредством использования обучаемой нейронной сети. Однако указанное техническое решение может быть применено только при съеме сигналов с верхних или нижних конечностей и неприемлемо при дешифрации ЭМС мышц спины. В то же время их расшифровка необходима при управлении реабилитационными экзоскелетами в режиме «встать – сесть» или промышленными экзоскелетами – в режиме подъема груза. Кроме того, использование дублирующих каналов не приводит к повышению информативности сигнала, а направлено, скорее, на повышение его помехозащищенности. Это обстоятельство влечет за собой снижение надежности нейросетевого классификатора, на входы которого подаются высоко коррелированные признаки. Эти признаки формируются не только на основе анализа сигналов, зависящих от ЭМС, но и от места положения электрода в текущем эксперименте или от различной динамики изменения кожного сопротивления под электродами в процессе эксперимента. Эти обстоятельства не могут быть учтены в процессе обучения нейронной сети.

Сущность предлагаемого метода управления экзоскелетом состоит в том, что при дешифрации ЭМС используются не только их амплитудные показатели, но и частотные характеристики. Причина – известно, что повышение двигательной активности приводит не только к росту амплитуды ЭМС, но и к увеличению числа задействованных ДЕ. То есть для кодирования ЭМС используется гипотеза об амплитудной и частотной модуляции этого сигнала [9]. Соответствующий демодулятор используется для построения кодера. Его выходные сигналы используются в качестве ИП для соответствующих декодеров.

Так же как и в известных методах, с целью адаптации функционального состояния пациента и процесса вертикализации в дешифраторе используется множество дублирующих каналов ЭМС, связанных с мышцей или группами мышц, контролирующими движение одного и того же сустава в конечности. В результате на выходе классификатора каждого канала получаем число, соответствующее уверенности в команде управления серводвигателя экзоскелета. Для агрегации решений по каналам классификаторов все их выходы поступают на нечеткую нейронную сеть. Ее

дефаззификатор формирует управляющий сигнал на контроллер серводвигателя. В результате анализа этого сигнала контроллер определяет скорость и направление вращения серводвигателя.

Структурная схема устройства управления экзоскелетом посредством ЭМС представлена на рисунке 1. Устройство состоит из блока электродов 1, блока обработки ЭМС 2; бортового процессора 3, и контроллера серводвигателей 4. Отличительной особенностью этого устройства является отсутствие биотехнических обратных связей. Обратная связь осуществляется только через сенсорный канал оператора (пациента).

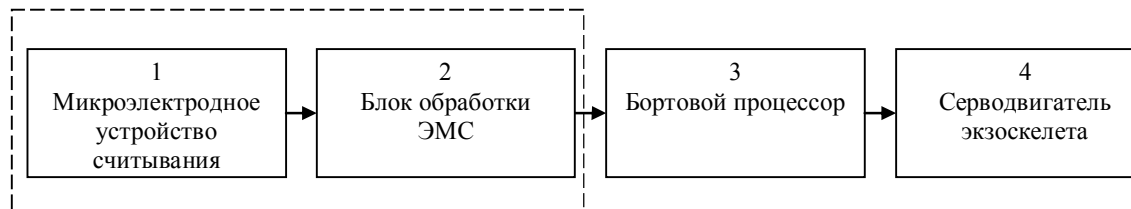


Рисунок 1 – Структурная схема устройства управления экзоскелетом посредством анализа ЭМС

Сущность метода управления экзоскелетом заключается в сегментации текущего сигнала ЭМС на непересекающиеся окна шириной TW с последующим формированием из отсчетов каждого окна информативного признака FD . С этой целью осуществляют переход от текущего дискретного отсчета ЭМС x_t к отсчету y_t , получаемому путем сравнения текущего отсчета с порогом Θ и вычисляемому согласно выражению

$$y_t = \begin{cases} 1, & \text{если } |x_t| \geq \Theta; \\ 0, & \text{если } |x_t| < \Theta. \end{cases} \quad (3)$$

На основе отсчетов (1) вычисляют информативный признак в окне TW как

$$FD = \frac{1}{TW} \sum_1^{TW} y_t. \quad (4)$$

На рисунке 2 показано, как из сигнала ЭМС $x(t)$ на рисунке 2а получается сигнал $y(t)$ по рисунку 2б для одного порога Θ_i . На ширине окна можно использовать множество порогов Θ и, как следствие, получить множество информативных признаков FD .

Таким образом, на апертуре окна TW формируется множество информативных признаков (3), на основе распознавания которых на серводвигатели 4 (рис. 1) подается соответствующая команда. Задавшись апертурой ЭМС, на которой принимается решение о включении серводвигателя, можем выделить на ней множество окон. Учитывая, что временная апертюра дешифрации ЭМС составляет 250 мс, а минимальный информационный квант, то есть минимальный отрезок ЭМС, который переносит релевантную информацию, составляет 25 мс, агрегатор решений работает на апертуре 250 мс. Рисунок 3 иллюстрирует процесс формирования окон. Так как решение, принимаемое по результатам анализа одного окна, является частным решением, то необходим агрегатор этих решений. Таким образом, приходим к выводу, что необходимы две ступени дешифрации ЭМГ.

Для осуществления дешифрации ЭМС на двух ступенях используем обучаемые нейронные сети прямого распространения сигнала. Первая нейронная сеть ($NET1$) работает с пространством информативных признаков (2), сформированном в окне TW . В качестве агрегатора также используем обучаемую нейронную сеть прямого распространения, которая работает на апертуре $MW = \text{int}(250/W)$ или, если используются окна с перекрытием, то на апертуре $MW = \text{int}((250-TW)/W)$, где W – шаг перемещения окна на апертуре ЭМС. Процесс определения числа неперекрывающихся окон анализа иллюстрирует рисунок 3.

На рисунке 4 представлен алгоритм управления экзоскелетом посредством анализа ЭМС. Блоки 2–5 алгоритма осуществляют анализ окон ЭМГ на заданной апертуре сигнала. Результаты этого анализа накапливаются в блоке памяти 5. После анализа ЭМС на заданной апертуре осуществляется переход на агрегатор $NET 2$, в котором принимается окончательное решение по выдаче команд на серводвигатели.

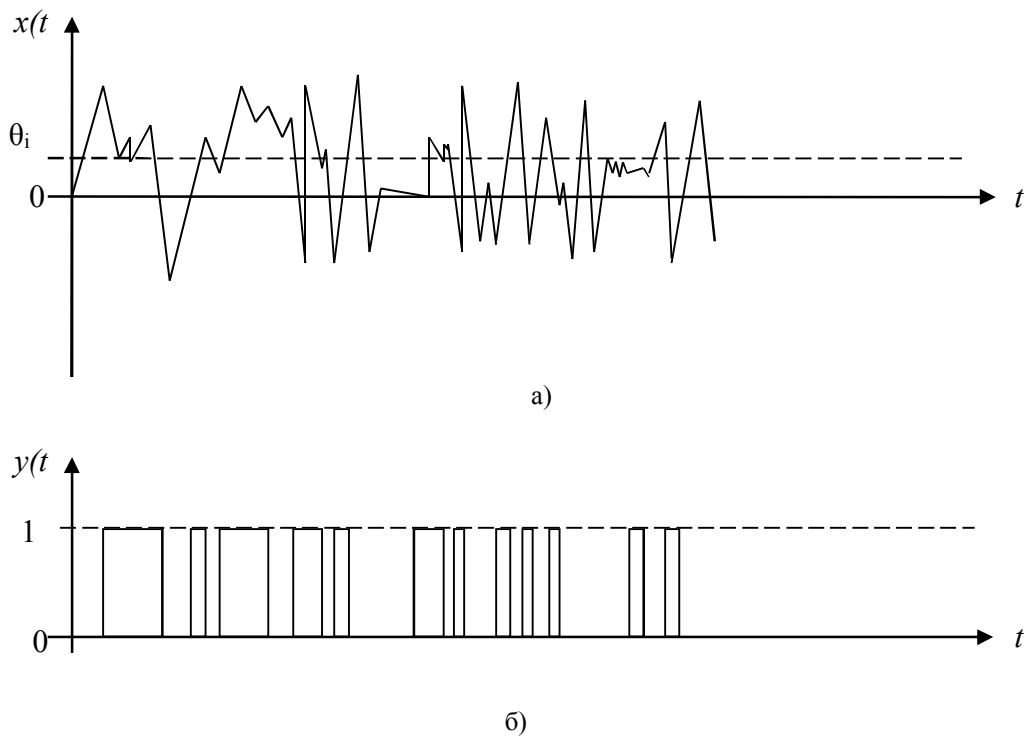


Рисунок 2 – Иллюстрация перехода от сигнала ЭМС $x(t)$ (а) к сигналу $y(t)$ (б)

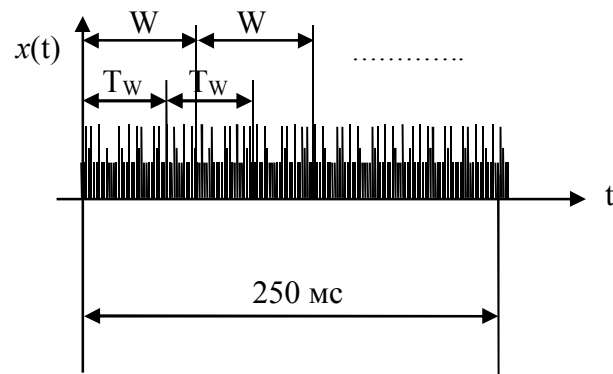


Рисунок 3 – Иллюстрация процесса формирования окон на апертуре ЭМС

Так как выходы $NET1$, которые формируются на основе анализа сигнала ЭМГ (рис. 3), разнесены во времени, то для принятия решения по совокупности результатов этих выходов необходимо запоминающее устройство, в котором хранятся эти результаты. Накопление результатов классификации окон в $NET1$ осуществляется в блоке 5 на рисунке 4. После анализа соответствующего количества окон его результаты поступают на обучаемую нейронную сеть $NET2$ (блок 6), выходы которой подключены к контроллеру серводвигателей 4 (рис. 1). Число окон анализа, то есть входов $NET2$, зависит от времени дешифрации команды, зашифрованной в ЭМС, и от минимального кванта информации, переносимого ЭМС.

Для синхронизации работы структурных элементов в дешифраторе ЭМС используется синхронизатор, временная диаграмма которого показана на рисунке 5. На рисунке 5а представлены скользящие окна анализа (дешифрации) сигнала $x(t)$. В данном примере имеет место случай с неперекрывающимися окнами. На рисунке 5б показаны стробирующие сигналы E_1 , поступающие на накопитель информативных признаков для $NET2$. Эти сигналы переключают регистры адреса блока памяти. На рисунке 5в показан стробирующий сигнал, сигнализирующий о том, что на выходах $NET2$ появилась релевантная информация. Строб E_2 формируется после того, как выходами $NET1$ будет сформирован вектор $\{NET1_j\}$. Строб разрешает контроллеру серводвигателей 4 (рис. 1) исполнять команды, поступающие с $NET2$.

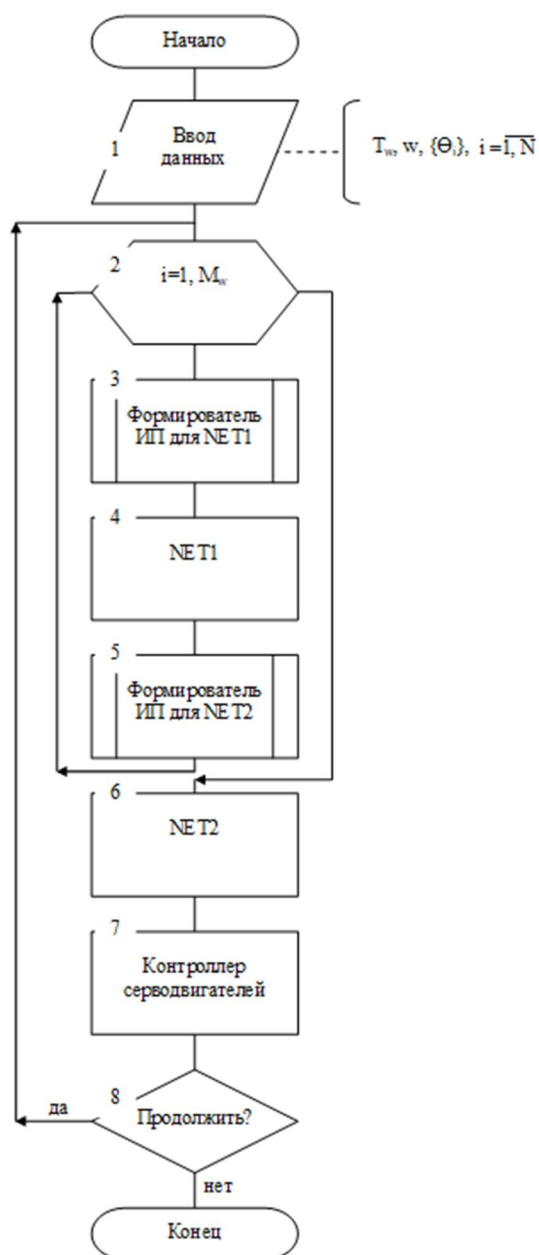


Рисунок 4 – Схема алгоритма управления экзоскелетом

Результаты. За основу реабилитационного процесса был выбран процесс вертикализации пациента с опорой для рук, которая выступает в качестве простейшего реабилитационного изделия. Схематично этот процесс реабилитации иллюстрируется рисунком 6.

Кинематическая модель экзоскелета, соответствующая процессу реабилитации, представленному на рисунке 6, показана на рисунке 7.

Для простоты расчетов полагаем, что $\varphi_1 = 90^\circ$ и не изменяется в процессе вертикализации (этот случай показан на рисунке 6). Тогда процесс вертикализации может быть осуществлен с помощью двух серводвигателей СД1 и СД2, управляющих углами φ_2 и φ_3 , соответственно.

Для управления серводвигателями экзоскелета в процессе вертикализации используем пять каналов ЭМГ, которые считывают ЭМС с большой ягодичной мышцы, двуглавой мышцы бедра, полуперепончатой мышцы, полусухожильной мышцы, большой поясничной мышцы. На рисунке 8 показана топология электродов ЭМГ на соответствующих анатомических структурах пациента.

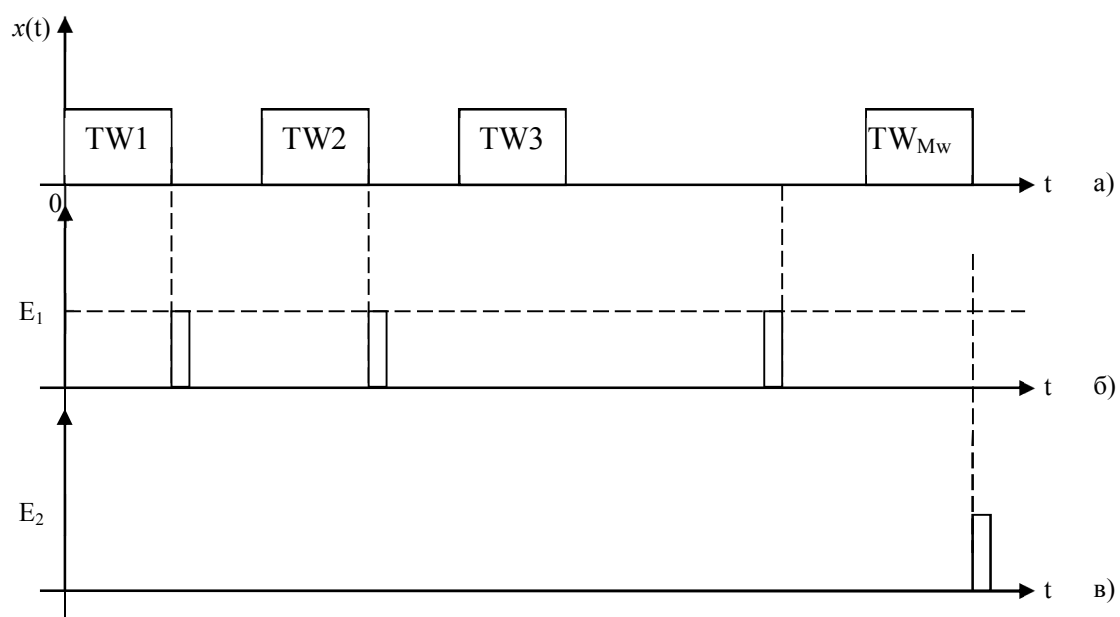


Рисунок 5 – Эпюры формирования управляющих импульсов на выходе синхронизатора

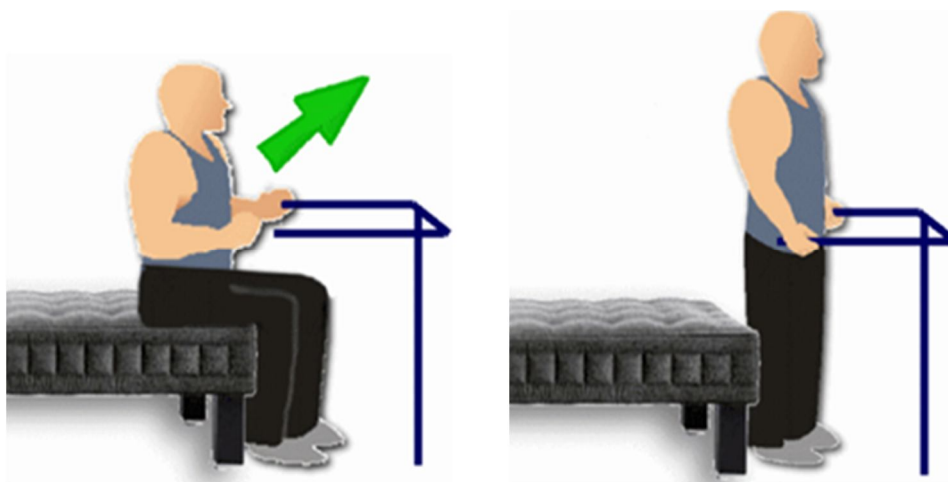


Рисунок 6 – Иллюстрация вертикализации пациента, осуществляемой посредством простейшего устройства

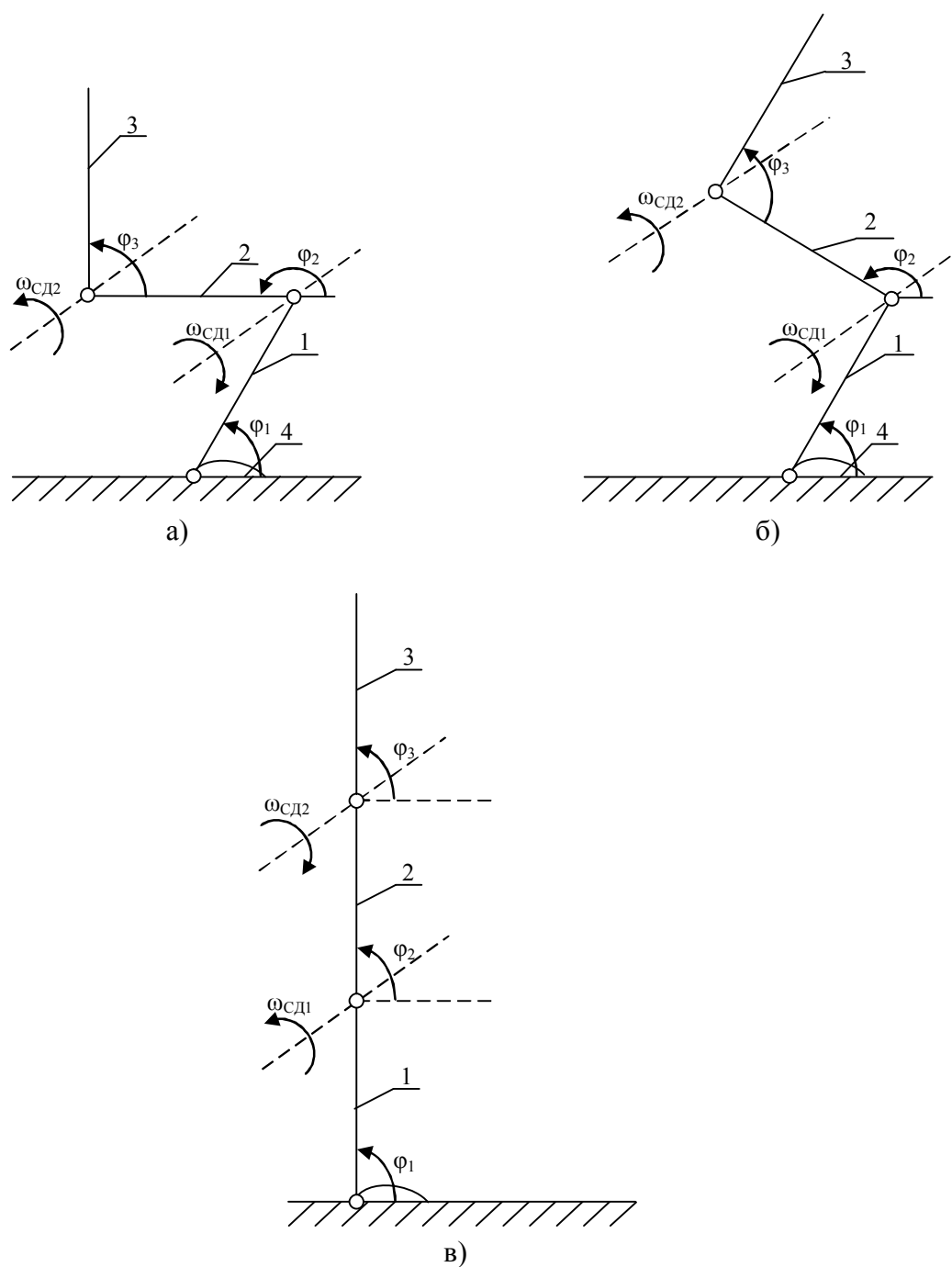


Рисунок 7 – Кинематическая схема экзоскелета: 1 – голень, 2 – бедро, 3 – позвоночник, 4 – стопа; а) – начальное состояние вертикализации, б) – промежуточное состояние вертикализации, в) – конечное состояние вертикализации



Рисунок 8 – Топология электродов ЭМГ на соответствующих мышцах для управления вертикализацией

Процесс вертикализации управляется посредством дешифрации ЭМС в каналах, а скорость вертикализации зависит от интенсивности этих сигналов. При определенных сочетаниях интенсивностей ЭМС в каналах серводвигатели могут остановиться в любой фазе процесса вертикализации. Чувствуя, что у него «не хватает сил встать», пациент захочет сесть. В этом случае возможна генерация соответствующих сигналов ЭМГ, которые могут быть использованы для реверса серводвигателей. Для осуществления режима «сесть» используются каналы ЭМГ с подвздошно-поясничной мышцы. Для вертикализатора в качестве дешифратора ЭМС необходимо использовать, как минимум, шесть каналов ЭМГ и еще одну нейросетевую структуру, используемую в качестве агрегатора дешифраторов канальных ЭМГ. Пять каналов ЭМГ соответствуют топологии электродов, представленной на рисунке 8, и предназначены для управления процессом вертикализации экзоскелета. Шестой канал используется при управлении режимом «сесть». Структурная схема такого дешифратора показана на рисунке 9.

В каждом канале включен блок компараторов, который осуществляет клиппирование ЭМС согласно (3) и вычисление информативного признака по клиппированному сигналу согласно (4). Нейронная сеть *NET1* в каждом канале получает на входе столько информативных признаков, сколько клиппированных сигналов выдает канальный компаратор. Блок памяти хранит решения *NET1* по каждому окну анализа, тем самым формируя входной вектор для *NET2*. Нейронная сеть *NET3* является нечеткой нейронной сетью. Ее выход вычисляется путем дефазификации шести функций принадлежности, представленных на рисунке 10.

Управление вторым серводвигателем осуществляется контроллером серводвигателей на основе модели движения экзоскелета в режиме «встать – сесть». Параметры модели адаптируются под физическое состояние пациента. Это позволяет устранить основной недостаток известных реабилитирующих экзоскелетов.

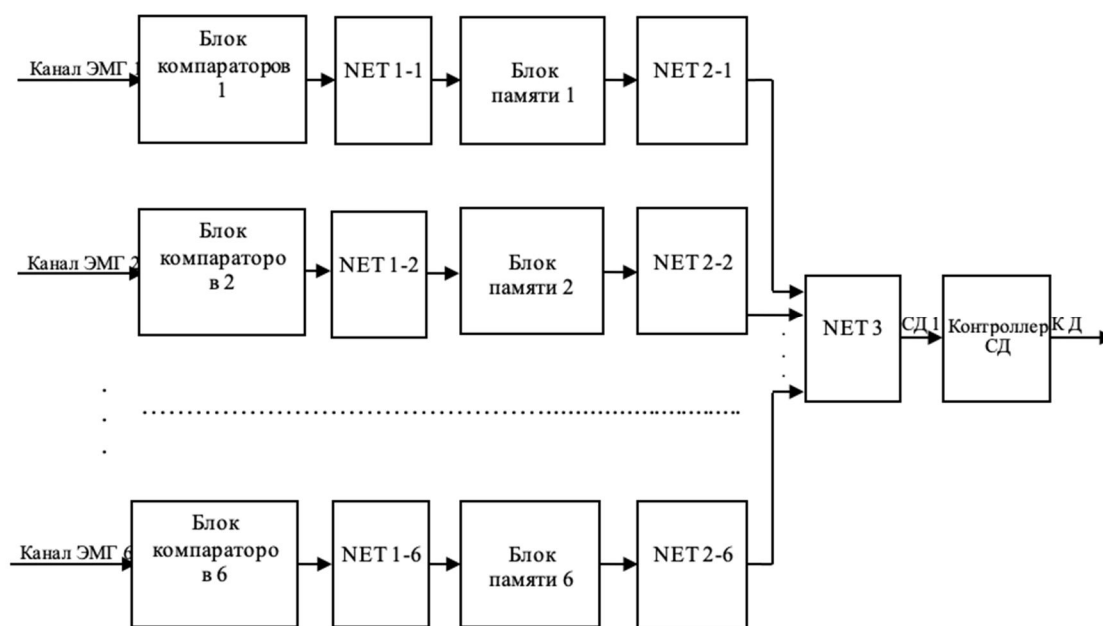


Рисунок 9 – Структурная схема классификатора ЭМГ при использовании дублирующих каналов

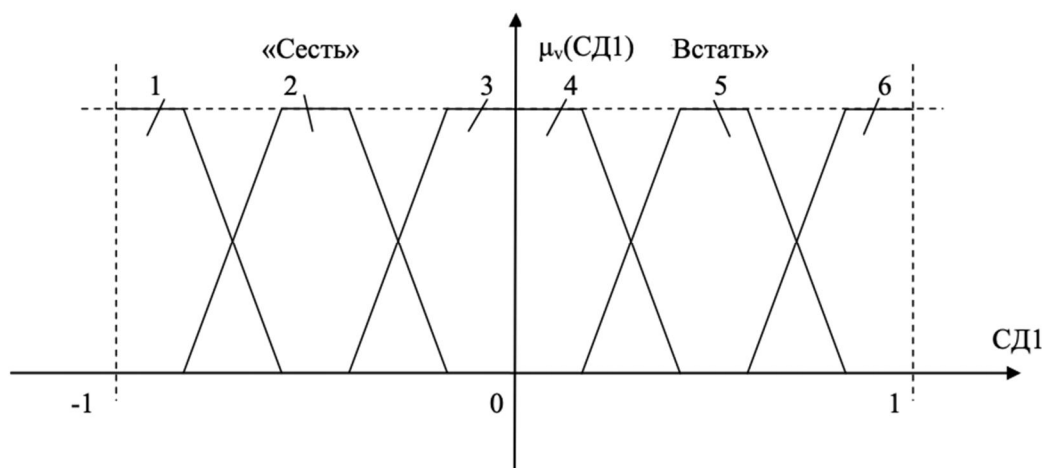


Рисунок 10 – Функция принадлежности для управления серводвигателем СД1: 1 – «сесть быстро», 2 – «сесть в среднем темпе», 3 – «сесть медленно», 4 – «встать медленно», 4 – «встать медленно», 5 – «встать в среднем темпе», 6 – «встать быстро»

Выводы. Для управления экзоскелетом в процессе реабилитации использовался нейросетевой дешифратор ЭМС с дублирующими каналами. Дешифратор ЭМС в каждом канале построен на основе двух последовательно включенных нейронных сетей и многопорогового компаратора ЭМС. Дешифрация ЭМС в каждом канале осуществлялась посредством пошаговой сегментации на пересекающиеся или на непересекающиеся окна. Формирование вектора информативных признаков для нейронной сети первого уровня дешифрации осуществлялось посредством многопорогового компаратора, число порогов которого определяется размерностью вектора информативных признаков, а компоненты вектора информативных признаков определялись посредством процедуры клиппирования сигнала ЭМГ на различных уровнях компарации.

Вторая нейронная сеть предназначена для обобщения данных, получаемых при классификации векторов информативных признаков текущего окна. Размерность вектора информативных признаков для этой нейронной сети определяется числом окон ЭМС, используемых при принятии решения о включении/выключении соответствующего серводвигателя.

В дешифраторе используются несколько дублирующих каналов дешифрации ЭМС, связанных с мышцей или группами мышц, контролирующими движение одного и того же сустава конечностей.

В результате на выходе классификатора каждого канала получают число, соответствующее уверенности в определенной команде на серводвигатель экзоскелета. Выходы классификаторов каналов ЭМС поступают на нечеткую нейронную сеть, дефазификатор которой формирует управляющий сигнал на контроллер серводвигателя. Контроллер серводвигателей анализирует управляющие сигналы и по результатам анализа определяет скорость и направление вращения соответствующих шарниров.

На основе базовой модели классификатора осуществлено управление движением экзоскелета в режиме «встать – сесть». Определено расположение электродов на группе мышц для осуществления режима вертикализации с комбинированным управлением. Показано, что упрощенная кинематическая модель режима вертикализации позволяет совместно с двухуровневой нейросетевой моделью дешифратора электромиосигналов осуществлять адаптацию реабилитационного процесса к функциональному состоянию пациента. Полученные модели классификаторов поверхностных сигналов электромиограмм могут быть использованы при построении интеллектуальных систем реабилитации пациентов с неврологическими заболеваниями.

Библиографический список

1. Аль-Баред А. Я. С. Алгоритмы синтеза оптимального управления в биотехнических системах реабилитационного типа на основе технологий нейронных сетей / А. Я. С. Аль-Баред, А. Н. Брежнева, Р. А. Томакова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 750–754.
2. Белых В. С. Разработка и исследование метода и алгоритмов для интеллектуальных систем классификации сложноструктурируемых изображений / В. С. Белых, М. А. Ефремов, С. А. Филист // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2016. – № 2 (19). – С. 12–24.
3. Бобе А. С. Использование паттернов ЭМГ в задаче распознавания цикла ходьбы человека / А. С. Бобе, Д. В. Конышев, С. А. Воронников // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2016. – № 3 (35). – С. 21–28.
4. Будко Р. Ю. Создание классификатора мимических движений на основе анализа электромиограммы / Р. Ю. Будко, И. Б. Старченко // Труды СПИИРАН. – 2016. – Вып. 46. – С. 76–89.
5. Филист С. А. Метод классификации сложноструктурируемых изображений на основе самоорганизующихся нейросетевых структур / С. А. Филист, Р. А. Томакова, О. В. Шаталова, А. А. Кузьмин, К. Д. Али Кассим // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 57–65.
6. Филист С. А. Модели нечетких нейронных сетей с трехстабильным выходом в инструментарии для психологических и физиологических исследований / С. А. Филист, Абдул Ра-хим Салем Халед, О. В. Шаталова, В. В. Руденко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 475–479.
7. Киселев А. В. Нейросетевые модули с виртуальными потоками для классификации и прогнозирования функционального состояния сложных систем / Т. В. Петрова, С. В. Дегтярев, А. Ф. Рыбочкин, С. А. Филист, О. В. Шаталова, В. Н. Мишустин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – № 4 (79). – С. 123–134.
8. Патент РФ RU 2 635 632 C1. Способ и система управления интеллектуальной бионической конечностью / Н. М. Иванов, В. Р. Каримов, Р. Ю. Будко, П. В. Гронский, С. М. Клейман; опубл. 14.11.2017, Бюл. № 32.
9. Петрова Т. В. Предикторы синхронности системных ритмов живых систем для классификаторов их функциональных состояний / Т. В. Петрова, С. А. Филист, С. В. Дегтярев, А. В. Киселев, О. В. Шаталова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 693–700.
10. Трифонов А. А. Биотехническая система с виртуальной реальностью в реабилитационных комплексах с искусственными обратными связями / А. А. Трифонов, Е. В. Петрунина, С. А. Филист, А. А. Кузьмин, В. В. Жилин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2019. – № 9 (4). – С. 49–66.
11. Филист С. А. Кодовые образы сигналов электроэнцефалограммы для управления робототехническими устройствами посредством интерфейса мозг-компьютер / С. А. Филист, Е. В. Петрунина, А. А. Трифонов, А. В. Серебровский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – Т. 7, № 1. – С. 67–79.
12. Филист С. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений / С. А. Филист, О. В. Шаталова, М. А. Ефремов // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. – 2014. – № 6. – С. 35–39.
13. Ataee Pedram and Aleem Idris S. Patent US, 20150370333 A1, G 06 F 3/01. applicant: Thalmic Labs Inc. – Appl. No.: 14/737,081, Filed: Jun. 11, 2015, Pub. Date: Dec. 24, 2015. 27 p.

References

1. Al-Bareda A. Ya. S., Brezhnev A. N., Tomakova R. A. Algoritmy sinteza optimalnogo upravleniya v biotekhnicheskikh sistemakh reabilitatsionnogo tipa na osnove tekhnologii neyronnykh setey [Algorithms for optimal control synthesis in biotechnical systems of rehabilitation type based on neural network technologies]. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* [System analysis and management in biomedical systems], 2018, vol. 17, no. 3, pp. 750–754.
2. Belykh V. S., Efremov M. A., Filist S. A. Razrabotka i issledovanie metoda i algoritmov dlya intellektualnykh sistem klassifikatsiy slozhnostrukturiruemyykh izobrazheniy [Development and research of methods and algorithms for intelligent classification systems of complex structured images]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie*

[Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering], 2016, no. 2 (19), pp. 12–24.

3. Bobe A. S., Konyshov D. V., Vorotnikov S. A. Ispolzovanie patternov EMG v zadache raspoznavaniya tsikla hodby cheloveka [Using EMG patterns for human gait cycle recognition]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 3 (35), pp. 21–28.

4. Budko R. Yu., Starchenko I. B. Sozdanie klassifikatora mimicheskikh dvizheniy na osnove analiza elektromiogrammy [Creating a classifier of facial movements based on the analysis of an electromyogram]. *Trudy SPIIRAN* [SPIIRAS Proceedings], 2016, no. 46, pp. 76–89.

5. Filist S. A., Tomakova R. A., Shatalova O. V., Kuzmin A. A., Kassim K. D. Ali. Metod klassifikatsii slozhnostrukturiruyemykh izobrazheniy na osnove samoorganizuyushchikhsya neyrosetevykh struktur [Method of classification of complex structured images based on self-organizing neural network structures]. *Radiopromyshlennost* [Radio Industry], 2016, no. 4, pp. 57–65.

6. Filist S. A., Rakhim Salem Khaled Abdul, Shatalova O. V., Rudenko V. V. Modeli nechetkikh neyronnykh setei s trekhstabilnym vykhodom v instrumentarii dlya psikhologicheskikh i fiziologicheskikh issledovaniy [Models of fuzzy neural networks with three-stable output in tools for psychological and physiological research]. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* [System Analysis and Management in Biomedical Systems], 2007, vol. 6, no. 2, pp. 475–479.

7. Kiselev A. V., Petrova T. V., Degtyarev S. V., Rybochkin A. F., Filist S. A., Shatalova O. V., Mishustin V. N. Neyrosetevye moduli s virtualnymi potokami dlya klassifikatsii i prognozirovaniya funktsionalnogo sostoyaniya slozhnykh sistem [Neural network modules with virtual flows for classification and prediction of the functional state of complex systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Southwest State University], 2018, no. 4 (79), pp. 123–134.

8. Ivanyuk N. M., Karimov V. R., Budko R. Yu., Gronskiy P. V., Kleyman S. M. Patent RF RU 2 635 632 C1. *Sposob i sistema upravleniya intellektualnoy bionicheskoy konechnostyu* [Method and control system of intellectual bionic limb], publ. on 14.11.2017, Bull. no. 32.

9. Petrova T. V., Filist S. A., Degtyarev S. V., Kiselev A. V., Shatalova O. V. Prediktory sinkhronnosti sistemnykh ritmov zhiylykh sistem dlya klassifikatorov ikh funktsionalnykh sostoyaniy [Predictors of synchronism of systemic rhythms of living systems for classifiers of their functional states]. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh* [System analysis and management in biomedical systems], 2018, vol. 17, no. 3, pp. 693–700.

10. Trifonov A. A., Petrunina E. V., Filist S. A., Kuzmin A. A., Zhilin V. V. Biotekhnicheskaya sistema s virtualnoy realnostyu v reabilitatsionnykh kompleksakh s iskusstvennymi obratnymi svyaziyami [Biotechnical system with virtual reality in rehabilitation complexes with artificial feedback]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* [Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering], 2019, no. 9 (4), pp. 49–66.

11. Filist S. A., Petrunina E. V., Trifonov A. A., Serebrovsky A. V. Kodovye obrazy signalov elektroentsefalogrammy dlya upravleniya robototekhnicheskimi ustroystvami posredstvom interfeisa mozg-kompyuter [Code images of electroencephalogram signals for controlling robotic devices via the brain-computer interface]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii* [Modeling, optimization and information technologies], 2019, vol. 7, no. 1, pp. 67–79.

12. Filist S. A., Shatalova O. V., Efremov M. A. Gibrinaya neyronnaya set s makrosloyami dlya meditsinskikh prilozheniy [Hybrid neural network with macro-layers for medical applications]. *Neyrokomp'yutery. Razrabotka i primeneniye* [Neurocomputers. Development and application], 2014, no. 6, pp. 35–39.

13. Atae Pedram and Aleem Idris S. Patent US, 20150370333 A1, G 06 F 3/01. applicant: Thalmic Labs Inc. Appl. No.: 14/737,081, Filed: Jun. 11, 2015, Pub. Date: Dec. 24, 2015. 27 p.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.112-118

УДК 004.5:004.8

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА НА ПРИМЕРЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЙ ЭКЗОСКЕЛЕТНОГО ТРЕНАЖЁРА REJOINT

Статья поступила в редакцию 18.10.2020, в окончательном варианте – 01.11.2020.

Драгунов Станислав Евгеньевич, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28, аспирант, e-mail: dragunov.stanislav.e@gmail.com

Попова Светлана Сергеевна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28, магистрант, e-mail: lorbrinil@gmail.com

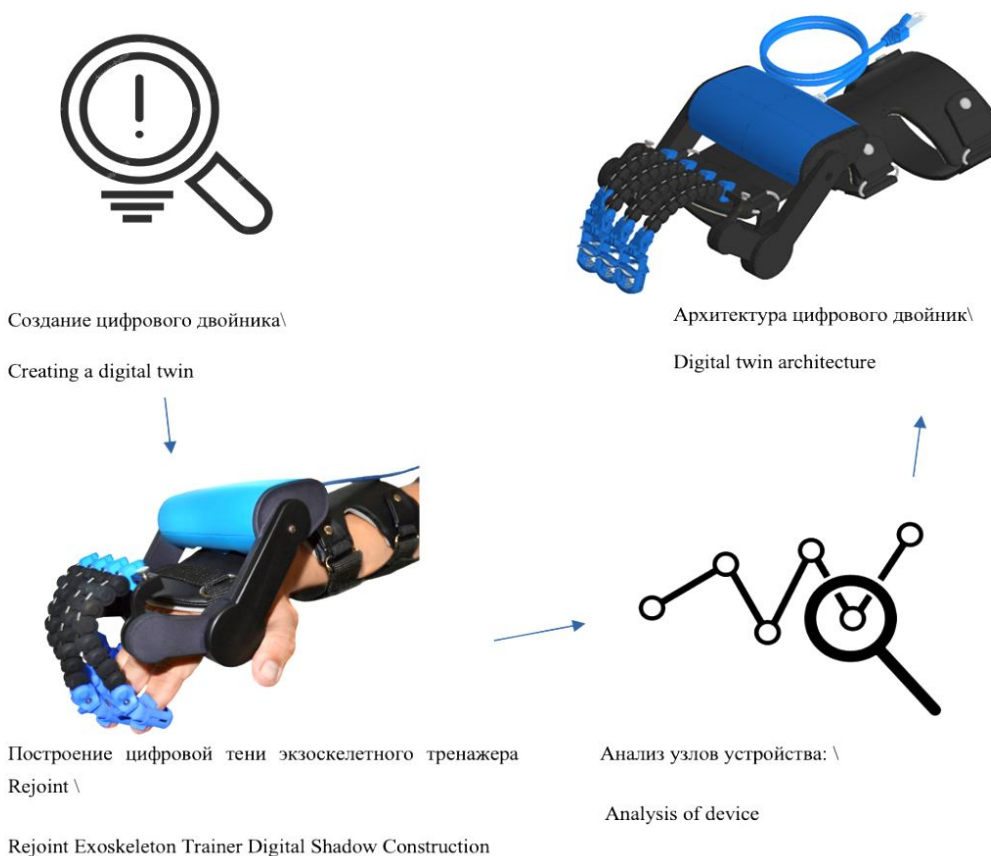
Матохина Анна Владимировна, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28, кандидат технических наук, докторант, e-mail: matokhina.a.v@gmail.com

Чернецкий Максим Александрович, ООО «Реджоинт Наука», 400001, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Социалистическая, 17, оф. 703, директор, e-mail: m@rejoint.ru

В данной статье рассмотрена апробация методологии цифровых двойников для мониторинга состояний и контроля эксплуатации в рамках аренды экзоскелетного тренажёра Rejoint, используемого для восстановления мышечной активности после травм и инсультов. Для апробации работы используется технология цифровой тени, позволяющей получать информацию о состоянии устройства, находящегося в удаленной эксплуатации, что позволяет повысить качество обслуживания и увеличить срок службы устройства. Процесс мониторинга включает в себя установку на устройство дополнительных датчиков, позволяющих в реальном времени собирать данные о положении узлов и состоянии устройства и передавать данные на сервер для последующего анализа. Полученные данные позволяют проводить как цифровую аналитику, так и компьютерные симуляции, предоставляя для анализа цифровую копию реально эксплуатируемого устройства.

Ключевые слова: экзоскелет, цифровой двойник, симуляция, датчики, медицинская техника

Графическая аннотация (Graphical annotation)



IMPLEMENTATION OF A DIGITAL TWIN USING THE EXAMPLE
OF STATE MONITORING OF THE REJOINT EXOSKELETON TRAINER

The article was received by the editorial board on 18.10.2020, in the final version – 01.11.2020.

Dragunov Stanislav E., Volgograd State Technical University, 28 V.I. Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

postgraduate student, e-mail: dragunov.stanislav.e@gmail.com

Popova Svetlana S., Volgograd State Technical University, 28 V.I. Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

undergraduate student, e-mail: lorbrinil@gmail.com

Matokhina Anna Vladimirovna, Volgograd State Technical University, 28 V.I. Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), doctoral student, e-mail: matokhina.a.v@gmail.com

Chernetsky Maxim A., LLC “Rejoint Nauka”, office 703, 17 Sotsialisticheskaya St., Volgograd, 400001, Russian Federation,

head, e-mail: m@rejoint.ru

This article discusses the approbation of the digital twin methodology for condition monitoring and operation control within the framework of the lease, the Rejoint exoskeletal trainer used to restore muscle activity after injuries and strokes. To test the work, digital shadow technology is used, which makes it possible to obtain information about the state of the device in remote operation, which improves the quality. maintenance and increase the life of the device. The monitoring process includes the installation of additional sensors on the device, which allow collecting real-time data on the position of the nodes and the state of the device, transmitting data to the server for subsequent analysis. The obtained data allow carrying out, in addition to digital analytics, computer simulations, providing for analysis a digital copy of the actually operated device.

Keywords: exoskeleton, digital twin, simulation, sensors, medical technology

Введение. Цифровые двойники – технология, позволяющая производить удалённый мониторинг технических систем, что помогает техническому обслуживанию и анализу состояний устройства. В рамках данной статьи изучается вопрос применения данной технологии для устройства Rejoint восстановления мышечной активности после травм и инсультов. Производится анализ узлов устройства и анализ архитектуры.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель конкретного продукта. Производители используют данный тип цифрового двойника перед настройкой производственной линии, чтобы проанализировать, как продукт будет работать в различных условиях и какие проблемы могут возникнуть в реальном мире [9, 20]. Он позволяет вносить необходимые корректировки и создавать более эффективный продукт. В результате цифровой двойник реального продукта помогает уменьшить производственные затраты при его выходе на рынок [5, 10].

Так как нет общепринятого понятия «цифровой двойник», то различные отрасли и группы дают свое определение, отражающее именно их нужды. Рассмотрим определения «цифровой двойник» со стороны бизнес-сектора.

Обычно двойник используется предприятиями для закрытия следующих потребностей:

- сопровождение продукции квалифицированным специализированным сервисом (контроль состояния, мониторинг, техническое сопровождение);

- сопровождение изделия на протяжении длительного жизненного цикла изделия;
- мониторинг большого количества экземпляров установленного оборудования;
- оценка работоспособности при множественных различных условиях эксплуатации;
- проведение обслуживания в условиях труднодоступности изделия [1, 12, 17].

Т.е. цифровым двойником можно назвать виртуальную модель продукта, предназначенную для анализа его поведения во всевозможных условиях, которые могут возникнуть при его эксплуатации. Такая цифровая модель может помочь найти слабые места в изделии, которые могут быть скорректированы до выпуска в производство, тем самым позволяя сделать более эффективный и жизнеспособный продукт. Таким образом, двойник уменьшает затраты на производство до выхода на рынок, позволяя экономить на создании множества прототипов, их испытании и внесении корректировок [4].

На разных этапах жизненного цикла продукта, а также под разные нужды, могут быть использованы различные цифровые двойники. Обычно цифровые двойники делят на следующие типы:

- цифровой двойник-прототип (Digital Twin Prototype);
- цифровой двойник-экземпляр (Digital Twin Instance);
- цифровой двойник-агрегатор (Digital Twin Aggregate).

Первый тип (Digital Twin Prototype) является прототипом реального объекта. Это совокупность различной информации для создания физического объекта. В него может входить документация

о материалах, информация о компонентах сборки, о свойствах и многое другое. Этот цифровой двойник обычно создается до фактического производства объекта.

Следующий тип (Digital Twin Instance) является двойником конкретного физического объекта. Двойник-экземпляр создается на основе двойника-прототипа, но использует не только данные, необходимые для обеспечения работоспособности объекта, но и информацию с датчиков, которая поступает на протяжении всего времени эксплуатации.

Этот тип цифрового двойника остается связанным с физическим объектом в течение его жизненного цикла [14]. Двойник-экземпляр зачастую включает в себя информацию об условиях эксплуатации, информацию с датчиков, записанную в базу данных, информацию об объекте и др. Этот двойник использует данные с датчиков в течение своего жизненного цикла для сопровождения изделия, прогнозирования поведения и мониторинга его состояния [8].

Последний тип (Digital Twin Aggregate) – это совокупность множества цифровых двойников конкретных физических объектов. В отличие от предыдущего типа, Digital Twin Aggregate не является независимой структурой. Цифровой двойник-агрегатор использует данные, включенные в экземпляры цифрового двойника, для изучения физического продукта, определения и изучения закономерностей, прогнозирования, а также для мониторинга большого количества объектов [2].

Пока производство недостаточно большое, используется второй тип цифровых двойников.

Цифровой двойник может состоять из трех компонентов:

1. Цифровое представление объекта, которое относится к структуре системы. Такие представления могут иметь визуальный пользовательский интерфейс, например, в форме трехмерных моделей. Также могут состоять из системных спецификаций или онтологий, описывающих архитектуру системы, включая компоненты и их интерфейсы [6, 13].

2. Поведенческая модель, которая описывает динамический отклик системы (то есть ее состояние и результат ее реакции на внешние воздействия). Такая модель может включать работу системы (т.е. моделировать то, как система выполняет свои функции), структурную реакцию на нагрузки, которым она подвергается, а также процессы деградации и повреждения [7, 19].

3. Конфигурация или состояние системы, которое представляет собой данные записи прошлого и текущего состояния или изменения системы, захваченные посредством датчиков [3].

Таким образом, цифровой двойник состоит из какого-либо представления объекта (например, 3D-представления), цифровой модели, которая описывает реакцию объекта на воздействие, и состояния системы в определенный момент времени.

И хотя цифровой двойник может использоваться на всех этапах жизненного цикла, данная работа нацелена на мониторинг состояния в рамках цикла эксплуатации.

Построение цифровой тени экзоскелетного тренажера Rejoint. Экзоскелетный тренажер Rejoint разработан волгоградской компанией ООО «Реджоинт Наука» и предназначен для восстановления мышечной активности после травм и инсультов путём автоматизации сгибания и разгибания пальцев. Пациенты могут брать тренажеры в аренду. Для повышения эффективности тренировок и предупреждения возможных отказов тренажера принято решение о его модернизации – построении его цифровой тени. Проект тренажера был доработан, в него добавили следующие элементы: датчик угла наклона, датчик сопротивления мотора, систему обратной связи пульта. Разработана трехмерная модель тренажера.

Цифровой двойник данного тренажера представляет собой подвижную 3D-модель для визуализации положений тренажера (рис. 1). Данные с датчиков отображают состояние системы и определяют поведенческую модель, отражающую реакцию объекта и применяемую в цифровой копии.

Данный цифровой двойник позволит сопровождать изделие на протяжении всего цикла эксплуатации и увеличить срок службы тренажера. Также на основе имеющихся данных можно будет улучшить конструкцию объекта, отследив «слабые места», и выявить проблемы во время эксплуатации объекта [15].

Блоки тренажера:

Мотор – получая сигнал с пульта управления, обеспечивает вращение подающей шестерни.

Система рычагов – состоит из ряда шестерен, передающих усилие на большой и малый рычаг тренажера.

Цепь пальцев – система, состоящая из набора костяшек, передающих усилие на пальцы пользователя, и обеспечивающая их плавное сгибание.

Датчик положения – прилегает к мотору и передает информацию о положении мотора, что позволяет также определять положение системы рычагов.

Датчик сопротивления – позволяет получить данные о нагрузке мотора и обеспечить безопасное сгибание.

Блоки пульта управления:

- программа управления – обеспечивает работу устройства;
- система питания – обеспечивает энергию для работы устройства;
- система передачи данных – передает информацию о состоянии устройства.



Рисунок 1 – 3D-модель тренажера

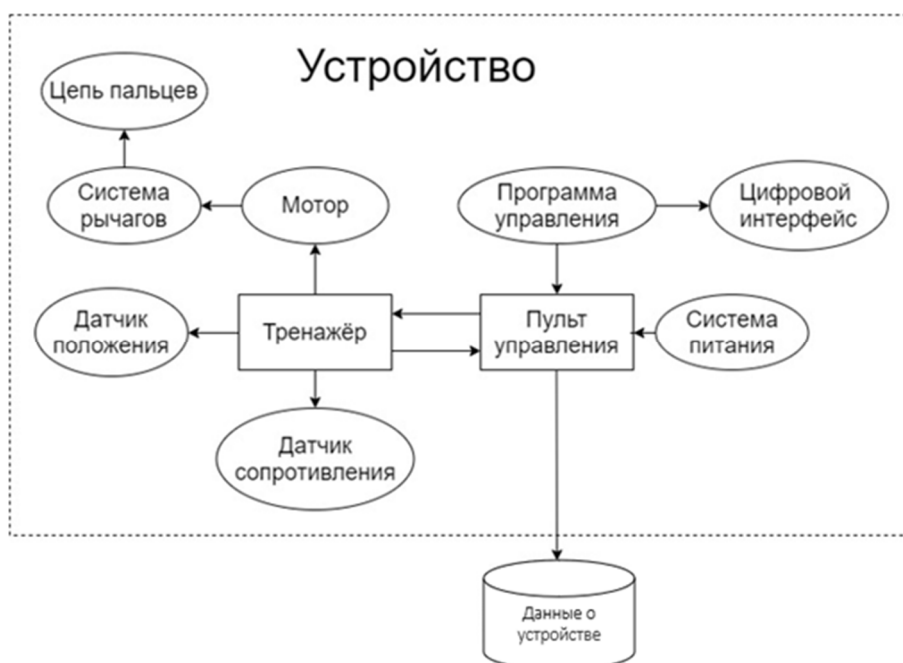


Рисунок 2 – Архитектура устройства

Архитектура цифрового двойника. Разработанная система цифрового двойника [18], получая данные с оригинала устройства, передаёт эту информацию на аналогичные узлы цифрового двойника.

Благодаря данным, которые собираются с датчиков, закрывается потребность в мониторинге и анализе состояния тренажера. В первом же типе цифрового двойника нет необходимости, так как производство уже запущено, и вся необходимая информация для создания нового объекта будет уже агрегирована в цифровой модели.

Для решения задачи отслеживания состояния физического объекта сначала определим входящие данные. Данные поступают из двух источников:

- датчики;
- плата пульта управления.

Поступающие значения с датчика положения с некоторым промежутком времени записываются в таблицу базы данных. Помимо значений в базу сохраняется время, в которое данное значение было зафиксировано, а также рассчитывается положение мотора и системы рычагов в это время, что позволяет отобразить положение физического объекта на цифровой модели [16].

Поступающие значения с датчика положения с некоторым промежутком времени записываются также в таблицу базы данных, сохраняя время, в которое значение датчика было зафиксировано, а также рассчитываются данные о нагрузке мотора, помогая сигнализировать о небезопасном сгибании [11].

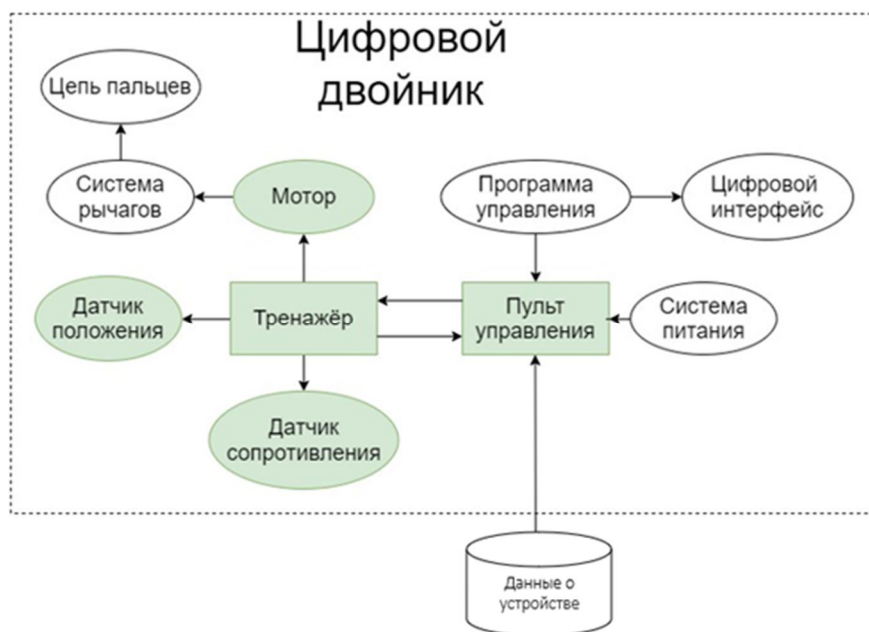


Рисунок 3 –Архитектура цифрового двойника

С платы пульта управления мы можем получить следующие данные: время тренировки, предоставленный угол разгибания, ограничение усилия, предоставленный угол сгибания и скорость.

Кроме динамически поступающих данных, необходимо хранить постоянный набор параметров конфигурации, некоторые настройки – по умолчанию.

Далее необходимо агрегировать всю имеющуюся в различном формате информацию о тренажере в одну базу знаний, которая хранит данные в формате правил. Эти правила позволяют анализировать состояние тренажера, основываясь на математических моделях, заданных в базе знаний. Например:

если текущий_угол_сгиба > максимальный_угол_сгиба, то сигнализировать об опасном сгибе.

Также база знаний может постепенно пополняться неисправностями и причинами, которые привели к ним. На основе этих данных цифровой двойник впоследствии может рекомендовать действия для своевременного их устранения.

Последним модулем цифрового двойника является система управления знаниями и их визуализации. Сначала определяется принадлежность входного сигнала (например, сигнал поступил от датчика). После этого происходит анализ сигнала с помощью базы знаний и расчет дополнительных параметров для определения текущего состояния тренажера, чтобы отобразить его.

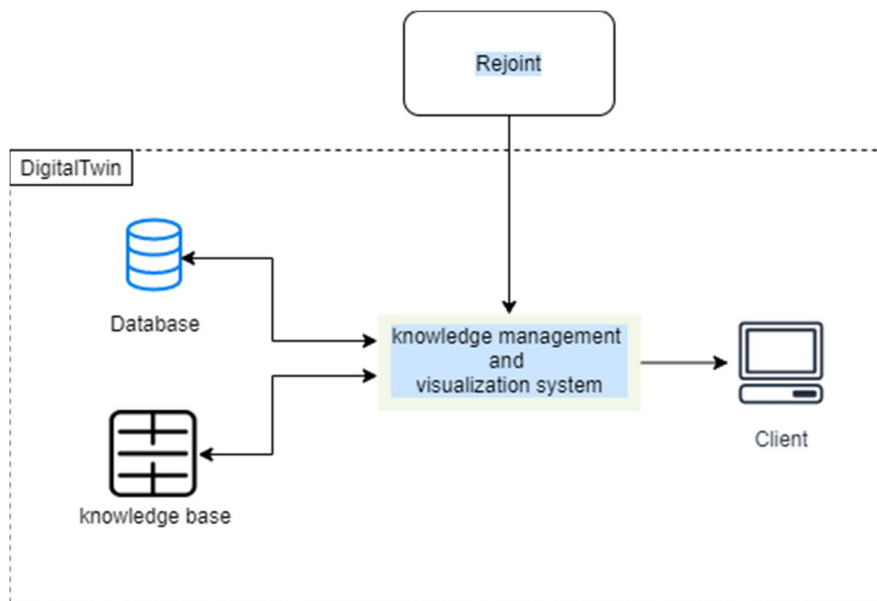


Рисунок 4 – Взаимодействие подсистем

Заключение. В рамках данной работы был проведен анализ технологии цифровых двойников, экстраполирован на тренажёр Rejoint, разработана схема внедрения датчиков для реализации функций данной технологии, определены необходимые данные для передачи. В данный момент технология внедрена, происходит сбор данных, результат работы планируется к представлению в следующей статье.

Библиографический список

1. Критцингер В. К. Цифровой двойник в производстве: категориальный обзор и классификация литературы / В. К. Критцингер, Т. Маттиас, Х. Георг, Я. Вильфрид // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – № 51. – С. 1016–1022. – 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
2. Горюет М. Цифровой двойник: смягчение непредсказуемого нежелательного поведения в сложных системах / М. Горюет, Д. Викерс. – 2017. – 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
3. Кабос К. К. Цифровая модель или цифровой двойник? / К. К. Кабос // 17-я конференция по компьютерным приложениям и информационным технологиям в морской отрасли (COMPIT). – Кардифф, 2018.
4. Флориан Б. Цифровой двойник для планирования производства на основе киберфизических систем: пример создания цифрового двойника на основе киберфизических систем / Б. Флориан, М. Дэвис, К. Бенедикт, В. Майкл // Процедура CIRP. – 2019. – Т. 79. – С. 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.087>.
5. Кокорев Д. С. Цифровые двойники: понятие, виды и преимущества для бизнеса / Д. С. Кокорев, А. А. Юрин // Коллоквиум-журнал. – 2019. – № 10 (34). – С. 31–35. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-10264
6. Марьясин О. Ю. Разработка онтологий цифрового двойника зданий / О. Ю. Марьясин // Онтология дизайна. – 2019. – Т. 9, № 4 (34). – С. 480–495.
7. Макаров В. Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Г. Л. Бекларян // Бизнес-информатика. – 2019. – № 13 (4). – С. 7–16.
8. Бамберг А. Что делает цифрового двойника гениальным компаньоном? / А. Бамберг, Л. Урбас, С. Бреккер, Н. Кокманн, М. Борц // ChemieIngenieurTechnik. – 2019.
9. Скорбит М. Истоки концепции цифрового двойника / М. Скорбит. – 2016. – 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
10. Петров А. В. Имитация как основа технологии цифровых двойников / А. В. Петров // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 10 (141). – С. 56–66.
11. Брумштейн Ю. М. Системный анализ направлений и функциональных возможностей методов исследования движений частей тела человека / Ю. М. Брумштейн, Ю. Ю. Аксенова, М. В. Иванова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 3 (27). – С. 80–98.
12. Чимино К. Н. Обзор приложений цифровых двойников на производстве / К. Н. Чимино, Элиза и Фумагалли Лука // Компьютеры в промышленности. – 2019. – 113.103130.10.1016/j.compind.2019.103130.
13. Щекочихин О. В. Онтология концептов информационной системы с поведением / О. В. Щекочихин, В. В. Шведенко, П. В. Шведенко // Вестник Поволжья. – 2016. – № 5. – С. 223–226.
14. Лю Я. Как интеллектуальные технологии могут способствовать устойчивому управлению жизненным циклом продукции? / Я. Лю, И. Чжан, Ш. Рен, М. Ян, Ю. Ван, Д. Хуйсин // Журнал чистого производства. – 2019. – 119423.10.1016/j.jclepro.2019.119423.
15. Тао Ф. Создавайте больше цифровых двойников / Ф. Тао, К. Ци // Природа. – 2019. – № 573.
16. Винсент Х. Цифровой двойник и виртуальная реальность: среда совместного моделирования для проектирования и оценки промышленных рабочих станций / Х. Винсент, Ж. Бенуа, Л. Марк, Б. Дэвид // Исследования производства и производства. – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 472–489. DOI: 10.1080/21693277.2019.1660283.
17. Шимански К. М. Продвижение цифровой автоматизации услуг настройки на заказ на малых и средних предприятиях отрасли строительного оборудования: подход к исследованиям в области дизайна / К. М. Шимански, М. М. Габриэле // Прикладные науки. – 2019. – 9.3780.10.3390/app9183780.
18. Аштари Т. Архитектура интеллектуального цифрового двойника в киберфизической производственной системе / Т. Аштари, Ю. Бехранг, Л. Тобиас, С. Бенджамин, Д. Нада, Ш. Нассер, В. Вольфганг, М. Михаэль // Automatisierungstechnik. – 2019. – № 67. – С. 762–782. 10.1515/авто-2019-0039.
19. Ванг Д. Цифровой двойник для диагностики неисправностей вращающегося оборудования в интеллектуальном производстве / Д. Ванг, Л. Ю, Р. Х. Гао, К. Ли, Л. Чжан // Int. J. Prod. Res. – 2019. – № 57. – С. 3920–3934.
20. Шведенко В. Метод генерации цифровых двойников на основе агрегирования информационных объектов / В. Шведенко, А. Волков // Автоматическая документация и математическая лингвистика. – 2019. – № 53. – С. 122–126. – 10.3103 / S0005105519030038.

References

1. Krittlinger V. K., Mattias T., Georg H., Vilfrid Ya. Tsifrovoy dvoynik v proizvodstve: kategorialnyy obzor i klassifikatsiya literatury [The digital twin in manufacturing: a categorical review and classification of the literature]. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, no. 51, pp. 1016–1022. 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
2. Goryuet M., Vickers D. *Tsifrovoy dvoynik: smyagchenie nepredskazuemogo nezhelatel'nogo povedeniya v slozhnykh sistemakh* [The digital twin: mitigating unpredictable unwanted behavior in complex systems], 2017. 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
3. Kabos K. K. Tsifrovaya model ili tsifrovoy dvoynik [Digital model or digital twin]. *17-ya konferentsiya po kompyuternym prilozheniyam i informatsionnym tekhnologiyam v morskoy otrasli (COMPIT)* [17th Maritime Computing and Information Technology Conference (COMPIT)]. Cardiff, 2018.

4. Florian B., Devis M., Benedikt K., Maykl V. Tsifrovoy dvoynik dlya planirovaniya proizvodstva na osnove kiberfizicheskikh sistem: primer sozdaniya tsifrovogo dvoynika na osnove kiberfizicheskikh sistem [Digital twin for cyber-physical manufacturing planning: example of creating digital twin on the basis of cyber physical systems]. *Protseura CIRP* [Procedure CIRP], 2019, vol. 79, pp. 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.087>.
5. Kokorev D. S., Yurin A. A. Tsifrovye dvoyniki: ponyatie, vidy i preimushchestva dlya biznesa [Digital twins: concept, types and benefits for business]. *Kollokvium-zhurnal* [Colloquium Journal], 2019, no. 10 (34), pp. 31–35. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-10264
6. Maryasin O. Yu. Razrabotka ontologiy tsifrovogo dvoynika zdaniy [Development of ontologies for the digital twin of buildings]. *Ontologiya dizayna* [Ontology of Design], 2019, vol. 9, no. 4 (34), pp. 480–495.
7. Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L. Razrabotka tsifrovyykh dvoynikov dlya proizvodstvennykh predpriyatiy [Development of digital twins for manufacturing enterprises]. *Biznes-informatika* [Business Informatics], 2019, no. 13 (4), pp. 7–16.
8. Bamberg A., Urbas L., Breker S., Kokmann N., Borts M. Chto delaet tsifrovogo dvoynika genialnym kompanynom [What makes the digital twin an ingenious companion]. *ChemieIngenieurTechnik* [ChemieIngenieurTechnik], 2019.
9. Skorbit M. *Istoki kontseptsii tsifrovogo dvoynika* [The origins of the digital twin concept], 2016. 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
10. Petrov A. V. Imitatsiya kak osnova tekhnologii tsifrovyykh dvoynikov [Imitation as the basis of digital twin technology]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2018, vol. 22, no. 10 (141), pp. 56–66.
11. Brumshteyn Yu. M., Aksenova Yu. Yu., Ivanova M. V. Sistemnyy analiz napravleniy funktsionalnykh vozmozhnostey metodov issledovaniya dvizheniy chastey tela cheloveka [System analysis of the function and functionality of methods for studying movements of parts of the human body]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii nomer* [Caspian journal: management and high technologies], 2014, no. 3 (27), pp. 80–98.
12. Chimino K. N., Luka E. F. Obzor prilozheniy tsifrovyykh dvoynikov na proizvodstve [Overview of digital twin applications in manufacturing]. *Kompyutery v promyshlennosti* [Industrial computers], 2019. 113.103130.10.1016/j.compind.2019.103130.
13. Shchekochikhin O. V., Shvedenko V. V., Shvedenko P. V. Ontologiya kontseptov informatsionnoy sistemy s povedeniem [Ontology of concepts of an information system with behavior]. *Vestnik Povolzhya* [Bulletin of the Volga region], 2016, no. 5, pp. 223–226.
14. Lyu Ya., Chzhan I., Ren Sh., Yan M., Van Yu., Khuysin D. Kak intellektualnye tekhnologii mogut sposobstvovat ustoychivomu upravleniyu zhiznennym tsiklom produktsii [How does smart technology create sustainable product living standards]. *Zhurnal chistogo proizvodstva* [Cleaner Production Journal], 2019. 119423.10.1016/j.jclepro.2019.119423.
15. Tao F., Ci K. Sozdavayte bolshe tsifrovyykh dvoynikov [Create more digital twins]. *Priroda* [Nature], 2019, p. 573.
16. Vinsent Kh., Benua Zh., Mark L., Devid B. Tsifrovoy dvoynik i virtualnaya arealnost: sreda sovmestnogo modelirovaniya dlya proektirovaniya i otsenki promyshlennykh rabochikh stantsiy [Digital analyzer and virtual reality: modeling environment for industrial plant design and evaluation]. *Issledovaniya proizvodstva i proizvodstva* [Researches of Manufacturing and Manufacturing], 2019, vol. 7, no. 1, pp. 472–489, DOI: 10.1080/21693277.2019.1660283.
17. Shimanski K. M., Gabriele M. M. Prodvizhenie tsifrovoy avtomatizatsii uslug nastroyki na zakaz na malykh i srednikh predpriyatiyakh otrasli stroitel'nogo oborudovaniya: podkhod k issledovaniyam v oblasti dizayna [Promotion of digital bespoke services for small and medium-sized enterprises in the construction equipment industry: an approach to design research]. *Prikladnye nauki* [Applied Sciences], 2019. 9.3780.10.3390/app9183780.
18. Ashtari T., Bekhrang Yu., Tobias L., Bendzhamin S., Nada D., Nasser Sh., Volfgang V., Mikhael M. Arhitektura intellektualnogo tsifrovogo dvoynika v kiberfizicheskoy proizvodstvennoy sisteme [The architecture of an intelligent digital twin in a cyber-physical production system]. *Automatisierungstechnik* [Automatisierungstechnik], 2019, no. 67, pp. 762–782. 10.1515/avto-2019-0039.
19. Wang L. Yu., Yu L., Gao R. Kh., Li K., Chzhan L. Tsifrovoy dvoynik dlya diagnostiki neispravnostey vrashchayushchegosya oborudovaniya v intellektualnom proizvodstve [Digital Twin for Diagnosing Rotating Equipment Fault in Smart Manufacturing]. *Int. J. Prod. Res.*, 2019, no. 57, pp. 3920–3934.
20. Shvedenko V., Volkov A. Metod generatsii tsifrovyykh dvoynikov na osnove agregirovaniya informatsionnykh obektov [A method for generating digital twins based on the aggregation of information objects]. *Avtomaticheskaya dokumentatsiya i matematicheskaya lingvistika* [Automatic documentation and mathematical linguistics], 2019, no. 53, pp. 122–126. 10.3103/S0005105519030038.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК [004.02+004.5]:681.5

НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ В КОНТРОЛЬНО-ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКИ МЛАДШИМИ ШКОЛЬНИКАМИ)

Статья поступила в редакцию 01.05.2020, в окончательном варианте – 20.06.2020.

Брумштейн Юрий Моисеевич, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, кандидат технических наук, доцент, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>; https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=280533; e-mail: brum2003@mail.ru

Шипилова Оксана Валерьевна, Муниципальное бюджетное образовательное учреждение г. Астрахани «Средняя общеобразовательная школа № 37», 414024, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Боевая, 81, корп. 1, учитель, e-mail: oksanashipilova1504@yandex.ru

Рассмотрено место «контрольно-обучающих систем» среди других инструментов дистанционного обучения. Отмечено, что в типичных случаях в контрольно-обучающих системах контрольно-тестовые задания выполняются последовательно, а возможности динамического управления сложностью контрольно-тестовых заданий не используются. Дана общая характеристика особенностей и технологий обучения информатике школьников младших классов в России. Приведены основные направления и конкретные примеры программно-технических средств для самостоятельного обучения таких школьников информатике. Сделан вывод о недостаточности использования в этих средствах режимов адаптивного обучения. Исследованы возможные направления и практические особенности адаптации контрольно-обучающих систем для использования их слабовидящими школьниками в школах и дома. Проанализированы некоторые специальные (дополнительные) функциональные возможности, которые может обеспечить применение современных информационно-телекоммуникационных технологий при эксплуатации контрольно-обучающих систем. Подробно проанализированы виды контрольно-тестовых заданий, которые могут использоваться в контрольно-обучающих системах; принципы управления сложностью контрольно-тестовых заданий, оценок результатов их выполнения. Охарактеризованы методические и алгоритмические решения, использованные в разработанном авторами прототипе контрольно-обучающих систем, использующем динамическую адаптацию контрольно-тестовых заданий в модулях. Алгоритмы представлены в виде подробных блок-схем с комментариями. Приведены расчетные формулы для определения целесообразных начальных сложностей для последующих модулей в тестах на основе результатов, полученных в предыдущих модулях. Рассмотрены особенности программной реализации прототипа контрольно-обучающих систем, включая «программную оболочку», состав и содержание применяемых модулей, особенности контрольно-тестовых заданий в них. Приведены результаты апробации контрольно-обучающих систем с использованием группы школьников первого класса в одной из школ г. Астрахани. По результатам апробации сделан вывод о правильности методических, алгоритмических и программных решений, использованных при реализации прототипа контрольно-обучающих систем.

Ключевые слова: обучение информатике, младшие школьники, нарушения зрения, контрольно-обучающие системы, тестовые задания, адаптивное тестирование, управление сложностью заданий, дообучение, оценка результатов тестирования

DIRECTIONS OF ADAPTIVE METHODS USE IN TEST-LEARNING SYSTEMS (BY THE EXAMPLE OF STUDYING INFORMATICS BY JUNIOR SCHOOLCHILDREN)

The article was received by the editorial board on 01.05.2020, in the final version – 20.06.2020.

Brumshteyn Yuriy M., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0016-7295>; brum2003@mail.ru

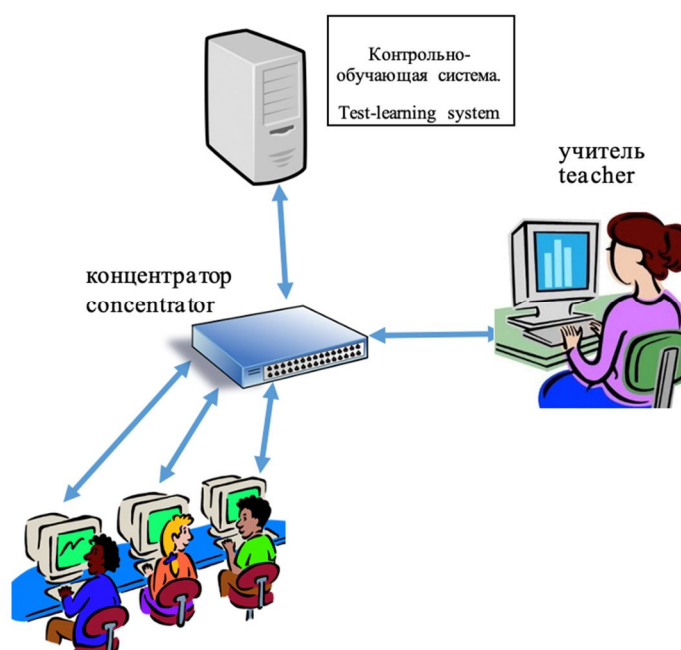
Shipilova Oksana V., Municipal Budgetary General Educational Institution of Astrakhan "Secondary School № 37", building 1, 81 Boevaya St., Astrakhan, 414024, Russian Federation, teacher, e-mail: oksanashipilova1504@yandex.ru

The place of "test-learning systems" among other remote training tools is considered. It is noted that in typical cases in test-learning systems test tasks are performed sequentially, and the capabilities of dynamic control of test tasks complexity are not used. Authors are characterized general characteristics of peculiarities and technologies of teaching informatics of primary school children in Russia. The main directions and specific examples of software-hardware tools (means) for independent train-

ing of such children are given. It was concluded that the use of adaptive learning modes in these tools (means) is insufficient. Possible directions and practical features of test-learning systems adaptation for use by visually impaired schoolchildren in schools and at home have been investigated. Authors are analyzed some special (additional) functional capabilities that the use of modern information-telecommunication technologies in the test-learning systems exploitation can provide. In this paper also are analyzed the types of test tasks, which can be used in test-learning systems; principles for managing the complexity of these test tasks; the evaluation of their implementation results. There are described methodical and algorithmic solutions used in the prototype of test-learning systems, which have been designed by the authors. This prototype use dynamic adaptation of test tasks in modules. Algorithms are presented in the form of detailed flowcharts with comments. Calculation formulas are given for determining reasonable initial complexities for the after-blowing modules in tests based on the test results, obtained in the previous modules. Features of program implementation of the test-learning systems prototype are described, including "program shell," composition and content of the used modules, peculiarities of test tasks in them. The results of test-learning systems testing using a group of first-grade schoolchildren in one of the schools in Astrakhan are presented. Based on the results of these testing, a conclusion was made about the correctness of the methodic, algorithmic and software solutions, which are used in the implementation of the designed test-learning systems prototype.

Keywords: training on informatics, junior schoolchildren, visual impairment, test-learning systems, control-test tasks, adaptive testing, task complexity management, additional training, test results evaluation

Graphical annotation (графическая аннотация)



Введение. Расширение использования систем дистанционного обучения (СДО) является одним из инструментов организации учебного процесса в различных категориях образовательных учреждений. Это направление может быть особенно важным в случае введения в действие противоэпидемических мероприятий, что приводит к прекращению (или значительному ограничению) проведения занятий в очной форме, в том числе и в школах. Кроме того, СДО может быть безальтернативным вариантом организации обучения для лиц, которые не могут «перемещаться» в образовательные учреждения из-за заболеваний, травм и пр.

Традиционный для СДО подход к обучению предусматривает разбивку учебного материала на модули, которые изучаются последовательно. При этом по каждому модулю обычно выполняется следующее: представляется учебный материал; проводится контроль качества усвоения материала (КУМ) с использованием контрольно-тестовых заданий (КТЗ); по результатам их выполнения дается оценка КУМ. Затем вне зависимости от результатов такой оценки происходит переход к следующему модулю. Когда пройдены все модули, дается некоторая сводная оценка КУМ по курсу в целом.

В «контролирующих системах» (КС) по каждому модулю осуществляется только контроль КУМ – без какого-либо обучения. В контрольно-обучающих системах (КОС) производится КУМ и, при необходимости, некоторое оперативное «дообучение» – в основном при неудовлетворительных оценках КУМ. В общем случае такое «дообучение» может осуществляться как по отдельным модулям, так и по курсу в целом.

В большинстве СДО динамическая адаптация сложности обучения и/или КТЗ для оценки КУМ не предусматривается. Это снижает эффективность обучения и/или КУМ, хотя и обеспечивает удобное сопоставление полученных результатов контроля знаний. Вопросы адаптации уровня сложности обучения или контроля (в КС или КОС) в большинстве работ по СДО или методикам обучения не затрагиваются или рассматриваются достаточно фрагментарно. Однако эти вопросы могут быть важны при значительных различиях в уровнях базовой подготовки, способностях или психофизиологических характеристиках обучающихся. Цель данной статьи – обоснование целесообразности использования алгоритмов «адаптирования» сложности КТЗ и обучающих материалов (ОМ) в КОС по двум направлениям: внутри каждого модуля – с повторными КУМ; при переходах между модулями. Такое решение позволяет более полно учесть возможности конкретных обучающихся. Материал описывается на примере изучения информатики школьниками младших классов (ШМК) в обычных (некоррекционных) школах. При этом учитывается, что среди ШМК достаточно много детей с нарушениями зрения. В связи с этим для них специально рассматриваются вопросы адаптирования ОМ и КТЗ.

Общая характеристика особенностей обучения информатике школьников младших классов. Актуальность изучения информатики в России начиная с первых классов школ определяется тем, что современные дети начинают использовать компьютеры, смартфоны и планшеты, а также интернет-ресурсы, очень рано – обычно еще до поступления в школы. Эти средства систематически применяются детьми для решения целого ряда повседневных задач, включая коммуникации, поиск и получение информации, рекреации, учебные цели и пр. Вопросы обучения ШМК информатике рассмотрены в большом количестве работ для различных уровней обучения (классов). Подготовлены программы учебных курсов [13, 21], учебники [20, 26] и методические пособия; практикумы [5], программно-технические средства обучения, контроля, демонстрации ОМ и пр. Основные цели обучения информатике ШМК: освоение базового понятийного аппарата информатики и информационных технологий; получение первоначальных сведений об операциях, связанных с использованием программных средств на персональных компьютерах (ПК), компьютерных планшетах – с оговорками, смартфонах; приобретение практических навыков выполнения действий с использованием клавиатуры, манипулятора мышь, сенсорных экранов и пр.; общее формирование культуры работы ШМК с информацией; развитие у ШМК элементов логического мышления, начальных «алгоритмических навыков», системных подходов к решению задач; общее стимулирование интеллектуального развития ШМК [23].

Для достижения этих целей ШМК изучают в рамках курсов информатики такие основные темы: понятие множества и его элементы; свойства предметов (цвет, форма, размер, названия, признаки, состав предметов); понятия «равно» и «не равно»; отношения между объектами «больше» и «меньше»; отрицание; понятия «истина» – «ложь», «вверх» – «вниз», «вправо» – «влево»; возможные действия с предметами (объектами); последовательность событий; порядок действий; симметрия фигур; понятие «дерево»; графы; элементы комбинаторики; использование символов для обозначения объектов (пиктограмма, звукобуквенное сочетание и др.). Кроме того, по ходу обучения у ШМК тренируется логическое и алгоритмическое мышление, вырабатываются необходимые практические навыки работы на ПК.

При организации обучения ШМК необходимо учитывать следующее: преимущественно конкретный характер восприятия ими информации, использование наглядно-действенного и наглядно-образного мышления; в ряде случаев – отсутствие у ШМК в достаточной степени сформированных навыков манипулирования с данными, их обобщения, выполнения сложных умозаключений и пр.; относительно непродолжительные периоды времени, в течение которых ШМК способны поддерживать нужные уровни концентрации внимания – особенно при тестировании, т.е. КУМ и пр.

Особенности планирования и организации обучения ШМК: ограниченное количество аудиторных часов, выделенных на изучение курсов информатики; необходимость освоения всех частей курсов; целесообразность использования межпредметных связей при обучении информатике; широкая распространенность среди ШМК нарушений зрения, в том числе требующих постоянного ношения очков.

Факторы, благоприятствующие обучению ШМК информатике: у большинства городских школьников есть личные ПК, у некоторых – еще и планшеты; смартфоны есть у всех школьников; при обучении могут применяться программные средства с «элементами игр», что улучшает мотивацию обучения; обычно – доступность для ШМК во внеучебное время школьных компьютеров для тренинга, повторения материала, закрепления знаний; широкие возможности использования школьниками домашних компьютеров для повторения/закрепления материала, пройденного на аудиторных занятиях, в частности с использованием СДО и/или с участием родителей.

Неблагоприятные факторы: при больших продолжительностях использования персональных компьютеров (ПК) и смартфонов – высокая нагрузка на зрительный аппарат школьников; возможность возникновения «компьютерной игровой зависимости», так как компьютерные игры широко

доступны, включая интернет-сайты; появление гипокинезии при больших продолжительностях работы на ПК и смартфонах в течение суток; ознакомление ШМК с нежелательной информацией, которая может неблагоприятно влиять на детскую психику.

Технологии обучения информатике, направления и примеры использования программно-технических средств для их реализации. Типичные «компоненты» учебного процесса: представление (освоение) нового материала; повторение ранее пройденного материала; контроль знаний и практических умений. Последнее позволяет оценить результативность обучения, при необходимости внести определенные коррективы в учебный процесс, оперативно провести «дообучение». В общем случае контроль знаний/умений может иметь различные «формы»: входной – до начала обучения по курсу или группе тем; оперативный – по каждому изученному фрагменту материала; по теме (содержащей несколько фрагментов материала); по группе тем; итоговый – по изученному курсу в целом; проверка «остаточных знаний» – осуществляется через некоторое время после прохождения обучения.

Меры, которые целесообразно использовать в школах для обеспечения эффективности обучения ШМК информатике: систематический КУМ – в том числе и как средство получения «информации обратной связи» для учителя; применение средств активизации познавательной деятельности учащихся, в частности в рамках развития межпредметных связей; при необходимости – осуществление оперативного «дообучения» по отдельным темам, в том числе школьников, пропустивших занятия; применение для обучения мультимедийных средств на основе использования информационно-телекоммуникационных технологий (ИТКТ); использование поощряющих комментариев к действиям ШМК, что улучшает их мотивацию. Для лиц с нарушениями зрения целесообразно применение специальных программно-алгоритмических решений, позволяющих компенсировать их ограниченные возможности.

Опытными учителями применяется также следующее: работа с небольшими группами специально подобранных школьников; диалоговые режимы и управляемые дискуссии; «игровые минутки», в том числе с использованием компьютерных игр на ПК; применение ПК или «классных дисплеев большого размера» для демонстрации информации (статические изображения, слайд-шоу, аудиовидеоролики и пр.); использование интерактивных досок.

Практически во всех существующих программных средствах (ПС), предназначенных для обучения школьников информатике, предусматривается контроль знаний/навыков в тех или иных формах. При этом ПС для оценки КУМ может использоваться и «без обучения» – например, при сравнении результатов для ШМК, обучавшимся по разным учебникам/пособиям, с использованием разных методик обучения и пр. Решения о «дообучении» обычно принимаются учителями по результатам оценок КУМ. Это особенно важно, когда последующие темы курса опираются на результаты изучения предыдущих. Отдельное направление исследований/разработок – обучение школьников (в том числе ШМК) с нарушениями по зрению [16, 24], включая обучение их на дому [18].

Приведем примеры обучающих систем по информатике для работы с ШМК.

1. Программный комплекс «Путешествие в информатику» (*разработчик – Куликова Т.Н.*, <http://www.eduinterest.ru/deceds-265-2.html>) рассчитан на детей 6–10 лет. Рассматривается как дополнение для учебно-методического комплекса «Информатика в играх и задачах» (*разработчик Горячев А.В.*). Этот комплекс предназначен для развития навыков логического мышления и работы на ПЭВМ. Его можно использовать для аудиторных занятий в школе и дома – для индивидуальных занятий родителей с детьми.

2. «Радуга в компьютере» (*например, http://ito.edu.ru/2006/Moscow/II/1/II-1-6369.html*) – это, по существу, компьютерный практикум. Он предназначен для изучения с использованием ПК ряда предметов, для развития познавательной активности и других психофизических качеств обучающихся. В комплексе используются элементы компьютерных игр [4]; предусматривается возможность подготовки учителем каждого занятия с учетом используемых учебных программ, фактических уровней знаний и развития детей. Сами занятия могут проводиться в одном из двух режимов: «Пакет» или «Меню». В режиме «Пакет» нет возможностей адаптации уровней сложности обучения, в том числе при выборе номенклатуры игр. В режиме «Меню» обучающийся может сам выбирать любую игру из набора, т.е. самостоятельно «адаптироваться» в отношении уровней сложности.

3. «Мир Информатики» – это интерактивный курс с использованием мультимедиа-средств обучения, разработанный на основе технологий флэш-анимаций. (*разработчик – компания «Кирилл и Мефодий», http://km-school.ru*). Курс предназначен для знакомства самых младших школьников с практическими основами работы на ПЭВМ и их составными частями; дает первичное представление об информации, ее видах, способах получения, передачи и представления. Кроме того, ШМК узнают, что такое множества, обобщение, модели, алгоритмы; какие есть способы представления алгоритмов.

4. Учебно-методический пакет «Роботландия» [19] предназначен для раннего обучения детей информатике. Тематика, связанная с роботами, вызывает у ШМК особый интерес. Пакет

ориентирован на выработку у школьников 1–3 классов умения формализовывать задачи; выделять в них наиболее важные логические части; определять взаимосвязи этих частей друг с другом.

5. Специализированное программное средство «Лента времени», входящее в цикл программ «Картина мира» [17].

6. Система «Альт.Образование» (разработчик ООО «Базальт СПО», текущая версия 9, например, https://www.altlinux.org/Альт_Образование_9) построена на базе использования Linux; обеспечивает возможности интеграции рабочих мест учащихся и преподавателя; позволяет построить инфраструктуру для предоставления учащимся ОМ на стационарных ПК, ноутбуках, нетбуках, компьютерных планшетах, электронных книгах; содержит наборы образовательных ресурсов специально для ШМК 7–10 лет.

Приведенный перечень не является, конечно, исчерпывающим – указаны только наиболее известные разработки. Средства КУМ включены во все рассмотренные системы, однако отнести их к классу КОС нельзя. Возможности использования «адаптивных режимов» обучения есть только в некоторых из рассмотренных ПС, причем в весьма ограниченных объемах; не предусмотрены «адаптивные режимы» КУМ. Отметим, что при автоматизированном КУМ выявление «утомления» школьников может осуществляться на основе обнаружения роста количества ошибок при ответах на вопросы; увеличения длительности выбора (подготовки) ими ответов. Соответственно, может быть целесообразным введение «пауз» (например, «музыкальных») в процесс обучения/тестирования или при их прерывании.

Учет физиологических и психологических особенностей слабовидящих ШМК. В большинстве обучающих систем, КС, КОС такой учет не осуществляется или осуществляется слабо. Поэтому рассмотрим эти вопросы подробнее. Возможности «адаптации» КОС:

1. Использование штатных средств настройки операционных систем, включая инструменты для установления разрешений экранов дисплеев; контрастности/глубины цветопередачи на мониторах и пр.

2. Применение дисплеев ПК больших размеров, что дает возможность представлять изображения/текст более крупно. Однако для школ этот вариант может быть затратным, требовать увеличения размеров «компьютеризованных» рабочих мест школьников.

3. Использование «инструментов для разработчиков», предлагаемых создателями операционных систем (Windows, iOS, Android), – они обеспечивают включение в прикладные программы расширенной функциональности за счет подключения «дополнительных модулей»: а) применение «экранной лупы» для просмотра фрагментов текстов и изображений, на которые наведен курсор; б) аудирование (вербальное воспроизведение) выделенных фрагментов текстов или текстов, которые находятся в определенных частях экранов; в) перевод устной речи, включая числа, в «печатный текст»; г) применение мультимедийных «объектов-ассистентов» большого размера для подсказок о возможных действиях.

4. Применение разработчиками КОС оригинальных алгоритмических решений по представлению информации: а) прокрутка фрагментов текстов с увеличенными размерами шрифтов в виде «бегущей строки» в соответствующем окне; б) переход к интерфейсу экрана в КОС для лиц с «ограниченными возможностями по зрению» путем нажатия соответствующей «экранной кнопки» или по «голосовой команде». Это может касаться, например, применения в интерфейсах КОС укрупненных экранных кнопок и иных элементов управления (в том числе с дифференцированной звуковой индикацией при наведении на них курсора); использования увеличенного контраста для изображений, меньшего набора цветов, воспроизводимых на экранах и пр.; в) применение специально разработанных контекстных подсказок в вербальной форме для фактически выполненных или ожидаемых действий пользователей в конкретных ситуациях; г) использование укрупненных размеров для статических и анимированных изображений объектов, включенных в КТЗ; изображений с увеличенной контрастностью и пр. Границы между решениями по пунктам «3» и «4» являются нечеткими, так как часть вариантов для подпунктов 4а–4г может реализовываться с использованием «средств для разработчиков». Возможны и сочетания (комбинации) вышеперечисленных вариантов. Некоторые специфические приемы адаптации, в том числе для ознакомления слабовидящих лиц с информацией на интернет-сайтах, рассмотрены также в [15].

Согласно требованиям СанПиН 2.4.1.2660-10, непрерывная продолжительность работы с компьютером слабовидящих детей 6–7 лет в форме «развивающих игр» не должна превышать 10 минут. Это накладывает серьезные ограничения на технологии использования КОС.

Некоторые специальные возможности, которые обеспечивает применение информационных технологий в контрольно-обучающих системах. Использование ИТКТ в рамках КОС позволяет сделать следующее:

1. Расширить методические возможности использования КТЗ различных типов, в частности за счет применения графических интерфейсов для реализации взаимодействия КОС с пользователями;

аудирования вопросов в КТЗ; приема ответов на КТЗ в «речевой форме» – например, для слабовидящих ШМК, для обучения произношению иноязычных терминов и др.

2. Динамически (адаптивно) изменять объемы и уровни сложности фрагментов ОМ в модулях на основе анализа ответов, получаемых от обучающихся.

3. Автоматически изменять уровни сложности КТЗ с использованием тех или иных алгоритмов. Это обеспечивает возможности адаптации их сложности к уровням знаний обучаемых; улучшение результативности обучения и «дифференцирующих способностей» КТЗ.

4. Применять КОС (и/или обучающие системы) в рамках локальных компьютерных сетей с использованием алгоритмов, обеспечивающих индивидуальные подходы к каждому школьнику. Получать сводную статистику по группам обучающихся (тестирующихся) лиц, проводить анализ такой статистики и пр.

5. При обучении ШМК в аудиториях школ функционально и/или программно совместить использование индивидуальных ПК (или терминалов) с применением в классах крупноформатных дисплеев или интерактивных досок для групп школьников.

6. Снизить аудиторную интеллектуальную нагрузку на учителя, проводящего занятия. Непосредственно при использовании обучающих систем или КОС он в основном выполняет «организаторскую» роль, частично – информационно-консультационную.

7. Обеспечить возможности дополнительного/самостоятельного обучения (или контроля знаний) школьников по информатике на «площадках» школ во внеучебное время с использованием «незанятых» дисплейных классов. Эта возможность реальна в основном для школ, проводящих занятия в одну смену.

8. Обеспечить для школьников возможности «дистанционного» доступа к обучающим и контрольным материалам, в том числе с использованием домашних ПК, планшетов, смартфонов. При разработках КОС, ориентированных на мобильных пользователей, целесообразно предусматривать «адаптивный интерфейс» экрана, формируемый на основе данных о разрешении и размерах дисплеев устройств, с которых отправляются запросы на доступ к серверам.

Общая характеристика направлений и возможностей изменения сложности отдельных КТЗ при обучении и контроле знаний. В названиях существующих публикаций функции «адаптивного обучения» [7, 9] и «адаптивного контроля знаний» [1, 10, 22, 25] обычно разделяются. Однако есть и работы, прямо относящиеся к обоим направлениям [19].

В отношении «адаптивности» существующих систем контроля знаний и КОС, предназначенных непосредственно для ШМК, отметим следующее: *а)* преобладают подходы, основанные на предварительной настройке (выборе) сложности отдельных модулей, соответствующих темам или группам тем учебного курса. Такие модули могут включать в себя различный учебный материал и КТЗ; *б)* если и применяются варианты с автоматическим управлением сложностью, то только в отношении последующих модулей. При этом для уже «пройденных» модулей не обеспечивается усвоение материала хотя бы на минимальном уровне. Такое усвоение в пределах модуля можно реализовать следующим образом: «дообучение», изменение уровня сложности КТЗ, повторная оценка КУМ. Для реализации указанного подхода необходимо рассмотреть виды КТЗ и способы управления их сложностями.

Мы выделим четыре основных вида КТЗ и приведем для них типичные варианты «управления сложностью» в рамках использования «адаптивных режимов» для КОС.

1. КТЗ с выбором ответов из числа предъявленных – обычно от 3 до 7. При этом количество «верных ответов» в формулировке вопроса КТЗ может быть либо указано, либо нет. Частные случаи: *а)* КТЗ на выбор единственного верного ответа; *б)* использование бинарных ответов типа «Да» или «Нет» – оно встречается, но редко [2], так как вероятности случайных правильных ответов составляют 50 %.

Варианты упрощения КТЗ: уменьшение количества предлагаемых/отображаемых ответов, но обычно не менее «трех»; возможно – корректировка формулировок ответов. Усложнение КТЗ: наращивание количества объектов, но обычно не более 6–7.

2. КТЗ на ранжирование предложенных ответов по заданному критерию.

Упрощение КТЗ – уменьшение количества объектов в списке, предназначенном для ранжирования, но обычно также не менее 3-х. Усложнение КТЗ – наращивание количества объектов.

3. КТЗ на «сопоставление» (установление связей) между ответами/объектами, включенными в различные группы. Обычно это две группы понятий, выражений, элементов, иконок или иных изображений и пр., причем в общем случае длины количества объектов в группах могут быть разными. Установление связей объектов можно осуществлять и в графической форме – путем прочерчивания мышью линий-связей между «объектами-иконками» [3]. Типично использование в КТЗ связей «один к одному». Однако в общем случае могут применяться и связи типа «один

ко многим» или «многие к одному» [3]. Отметим, что КТЗ типов «2» и «3» иногда рассматриваются как подварианты «вопросов на классификацию».

Упрощение КТЗ может достигаться уменьшением количества объектов в одной или обеих группах (также обычно не менее 3-х объектов в каждой группе), усложнение КТЗ – путем наращивания количества объектов.

4. КТЗ со «свободным» вводом ответов [3]. Подварианты: а) ввод ответа в «пустое поле» – это может быть число, слово, фраза и пр.; б) вставка пропущенных чисел, слов или их окончаний; в) реже – задание на замену выделенного слова/словосочетания. Например, путем выбора синонима или антонима.

Варианты уменьшения сложности КТЗ: упрощение формулировки задания; упрощение содержания задания, предполагающее уменьшение сложности вычислений, необходимых для получения ответа. Усложнение задания – например, увеличение объема/трудоемкости вычислений; необходимость самостоятельного выбора расчетной формулы.

В ряде случаев для диверсификации КТЗ возможна автоматическая генерация (в заданных диапазонах значений) величин для предлагаемых числовых ответов (для КТЗ 1–3-го типов) или параметров для расчетов (для КТЗ 4-го типа).

Общим приемом усложнения КТЗ может быть уменьшение лимитов времени, предусматриваемых в КОС на каждое КТЗ (эти лимиты для разных КТЗ могут отличаться).

При корректировках сложностей КТЗ должны изменяться и соответствующие им «весовые коэффициенты сложности» (ВКС) – они могут использоваться в «адаптивных режимах». Варианты оценивания ВКС для разных уровней сложности КТЗ: а) экспертно. Например, с использованием формальных критериев типа «количество предлагаемых ответов» для КТЗ 1-го типа; б) по накопленным результатам предшествующих тестирований по тем же КТЗ других школьников.

Возможны также некоторые дополнительные методы изменения сложности КТЗ:

А. Вручную по инициативе тестируемого – с помощью кнопок типа «Увеличить сложность» или «Уменьшить сложность» – для отдельных КТЗ или для всех последующих.

Б. Получение тестируемым «подсказки» (пояснения) в отношении «правильных ответов»: по его инициативе или автоматически – если он слишком долго не отвечает на КТЗ).

В. Вручную по инициативе учителя, осуществляющего оперативный контроль по ходу прохождения КТЗ учащимися.

Соответственно для всех этих трех вариантов величины ВКС должны изменяться.

Возможные методы управления сложностью фрагментов ОМ: изменение объема текста и/или количества графических объектов в нем; изменение содержания ОМ путем выбора иного (альтернативного) варианта из базы данных ОМ.

Предъявление КТЗ тестируемым лицам возможно по различным вариантам. В рамках простейших (базовых) подходов можно принять следующее: а) все КТЗ предъявляются обучающимся однократно; б) результаты ответов на предыдущие КТЗ, а также израсходованное для ответа на них время, не учитываются при формировании/отображении последующих КТЗ.

Однако в общем случае в КОС возможна автоматическая корректировка сложностей КТЗ и ОМ на двух уровнях: в пределах отдельных модулей, в том числе и неоднократная корректировка; при переходах между модулями. Вопросы «контроля времени» при использовании КОС могут быть важны в таких случаях: обеспечение принудительного прекращения работы по отдельным КТЗ, по отдельным модулям или по тесту в целом – если обучающийся «перерасходовал» время, выделенное для любого из этих «объектов»; управление уровнями сложности фрагментов ОМ и собственно КТЗ с учетом тех продолжительностей времени, которые обучающийся потратил на работу с предшествующими ОМ, КТЗ и др.

Могут быть применены различные технологии работы с КТЗ:

1. Для всех обучающихся используется единый порядок предъявления одних и тех же КТЗ. Он зафиксирован в «сценарии теста» и обычно соответствует логической последовательности изучения тем курса. Достоинства: все тестируемые лица находятся в равных условиях. Недостаток – при параллельном тестировании группы лиц (например, в компьютерном классе) школьники могут начать «консультироваться» друг с другом.

2. Для всех тестируемых лиц используется единый набор КТЗ, но предъявляются они им в случайном порядке. Недостаток – при этом имеет место отклонение порядка КТЗ по сравнению с логической последовательностью изучения тем курса.

3. Для каждого из тестируемых лиц КТЗ выбираются случайным образом из «тематических групп» КТЗ, соответствующих отдельным темам курса. При этом предполагается, что тестируемые будут отвечать на разные вопросы из всех тематических групп курса (например, по одному

вопросу из каждой группы). Поэтому вопросы в каждой из групп КТЗ должны быть однотипными, а уровни их сложностей – примерно одинаковыми.

4. Тестируемому лицу сразу предъявляется полный набор КТЗ, и он может отвечать на них в произвольном порядке. При этом результаты ответов могут фиксироваться для каждого КТЗ по отдельности или сразу для всего набора КТЗ в целом. В последнем случае обычно ответы на отдельные КТЗ могут по ходу тестирования корректироваться.

5. Последовательность предъявления КТЗ (и/или, возможно, их сложность) для каждого тестируемого может быть фиксированной или определяться динамически – с учетом фактических результатов его ответов по предшествующим КТЗ, израсходованного им времени по этим КТЗ и пр. При оценках ответов могут использоваться различные подходы, в том числе основанные на «нечетком оценивании» [2, 3] – если это допускают конструкции/содержание КТЗ.

Ответы тестируемых лиц могут оцениваться по каждому КТЗ; по их совокупности [2]. В последнем случае необходимы значения ВКС, при которых тестируемым было «завершено» прохождение соответствующих модулей, содержащих КТЗ.

Для адаптивных режимов использования КОС возможно динамическое изменение в модулях уровней сложности как фрагментов ОМ, так и КТЗ. При этом тестируемым лицам могут (при необходимости) выдаваться сообщения об изменении уровней сложности. В литературе описаны различные подходы к управлению сложностью КТЗ, включая «модель Раша» – например, [12]. В ней целесообразные уровни сложности КТЗ вычисляются исходя из оценок «уровней знаний» ученика и на основе этого вероятности успешного выполнения им предъявляемых заданий. Однако рассматриваемые в статье «технологии» для КОС имеют ряд особенностей: а) «уровни знаний» ШМК по конкретным темам заранее неизвестны и для разных тем курса могут значительно отличаться; б) значения ВКС для разных уровней сложности КТЗ априорно можно оценить лишь весьма приближенно; в) уровни сложности КТЗ могут меняться только дискретно, причем достаточно малым количеством градаций. Поэтому, с точки зрения авторов, более оправданными являются те алгоритмы выбора сложности КТЗ, которые описываются далее.

Перспективным направлением (оно пока не применяется) может также быть контроль физиологического состояния ШМК в процессе тестирования. На основе него может осуществляться автоматическое уменьшение уровней сложности модулей (КТЗ), если показатели пульса или дыхания становятся чрезмерно высокими.

Методические и алгоритмические решения, использованные в разработанной авторами КОС. С учетом вышесказанного авторами был разработан прототип КОС, предназначенный для использования по курсу «Информатика» для ШМК. На примере этого прототипа мы рассмотрим принятые методические, алгоритмические и программные решения.

В целом структуру разработки можно охарактеризовать как «четырёхкомпонентную».

1. Программная оболочка. Она взаимодействует со «сценариями тестов», с отдельными модулями и с пользователями (тестируемыми лицами); осуществляет управление сложностью КТЗ, переходами между модулями; обеспечивает принудительные прерывания работы с отдельными КТЗ и/или модулями, тестами в целом.

2. В «сценариях тестов» описывается следующее: а) состав (номенклатура) и последовательность использования модулей в тесте; б) режимы использования модулей: только тестирование или еще и «дообучение» – при необходимости; в) максимально допустимые количества попыток «сдачи ответов» на КТЗ – в отдельных модулях и по тесту в целом. Максимально допустимое количество модулей с «незначительными» КТЗ, в которых полностью использованы попытки их сдачи; г) предельное количество КТЗ, принудительно прерванных из-за превышения лимита времени на их выполнение; д) по каждому модулю – предельные продолжительности работы с КТЗ, ОМ и модулем в целом – могут быть использованы некоторые типовые значения; е) типовые и/или индивидуальные значения ВКС для каждого уровня сложности в КТЗ; ж) минимальные и максимальные количества объектов в КТЗ, соответствующих отдельным модулям; «шаги» изменения количеств этих объектов; з) начальный уровень сложности для теста; и) параметры для расчета уровня сложности для последующего модуля на основе результатов по предыдущим модулям пр.

Аппарат «сценариев» обеспечивает следующие возможности: а) позволяет применять одни и те же модули в разных сценариях; б) комплексно планировать условия использования КОС; в) задавать режимы динамического управления сложностью КТЗ; г) устанавливать разные уровни трудности для модулей в разных сценариях.

3. База данных «модули» включает для каждого модуля ОМ и КТЗ в разных вариантах, соответствующих разным уровням сложности. Для модулей целесообразно указывать их дескрипторы, в том числе в отношении тематической принадлежности модулей. Это упрощает процессы «компоновки» модулей в сценариях.

4. База данных с результатами ответов тестируемых лиц позволяет проводить оперативный и ретроспективный анализ, в том числе для групп лиц, отобранных по заданным критериям.

Общий алгоритм, использованный в КОС, представлен на рисунке 1. Он соответствует индивидуальному тестированию ШМК, которое может проходить с разной скоростью.

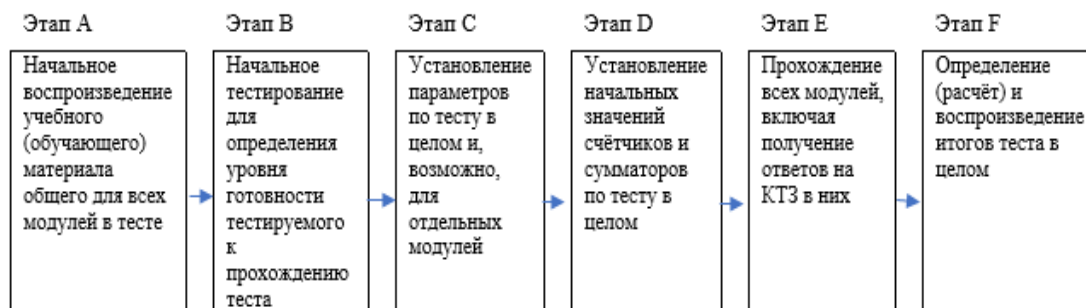


Рисунок 1 – Обобщенный алгоритм работы обучаемого с КОС.

Прокомментируем отдельные этапы подробнее.

А. Необязательный этап – начальное воспроизведение ОМ по «тесту в целом» для повторения пройденного материала. Типичные варианты представления ОМ в блоке «А» и далее: *a1)* отдельная страница с текстом и, возможно, со статическим изображением/изображениями. На этой странице могут быть размещены гиперссылки на дополнительные учебно-информационные, методические или справочные ресурсы; *a2)* несколько страниц – это требует вертикальной прокрутки экрана; *a3)* в форме аудиовидеороликов.

В. Необязательное проведение начального тестирования (определения уровня знаний) для оценки целесообразности начала работы с КОС.

С. Установка для совокупности модулей параметров, прописанных в сценарии теста.

D. Установление по тесту в целом начальных значений для переменных и счётчиков – это в основном нулевые значения.

Е. Прохождение тестируемым модулей. Поскольку рассматривается КОС, а не обучающая система, то мы не предусмотрели возможности организации «возвратов» на предшествующие модули. Один модуль обычно соответствует одной теме, включает в себя КТЗ и ОМ. Для модуля последовательно выполняется следующее:

e1) демонстрация ОМ перед работой с КТЗ. Если в сценарии предполагается только тестирование, то ОМ может не демонстрироваться;

e2) выполнение тестируемым КТЗ;

e3) анализ результата КТЗ: *e3.1)* если результат «полностью правилен», то модуль считается пройденным; *e3.2)* если результат «частично правилен», то оценивается «степень» его правильности [2, 3] и принимается решение «зачесть результат по КТЗ или нет». Например, для КТЗ 1-го типа было предложено 7 возможных ответов, из которых 4 «правильные». Из этих 4 «правильных» тестируемый выбрал только три ответа и не выбрал ни одного неправильного. Тогда ему КТЗ можно зачесть с уменьшающим коэффициентом для сложности 0,75 – по сравнению с номинальным ВКС, заданным для КТЗ с таким набором ответов. Если же тестируемый из 4 правильных ответов выбрал только 2, или выбрал 3 правильных ответа и один неправильный, то КТЗ не засчитывается. В общем случае критерии «приемлемости» ответов по каждому КТЗ для разных уровней сложности прописываются в «сценариях» тестирования.

Для пункта «e3» при успешном выполнении КТЗ в принципе возможно увеличение его сложности и попытка его повторной сдачи. Если эта «сдача» будет unsuccessful, то КТЗ будет «засчитано» на уровне сложности для «успешного ответа». Однако такой алгоритм авторы пока не реализовали;

e4) при «незасчитанном» КТЗ: уменьшается уровень сложности; воспроизводится ОМ; следует возврат на прохождение КТЗ с уменьшенным уровнем сложности;

e5) перед работой со следующим модулем: устанавливается новый уровень сложности по результатам, полученным в предшествующих модулях. Возможно также изменение общего количества модулей в тесте, которое необходимо пройти.

F. Для каждого ШМК возможно следующее: определение и воспроизведение итоговых результатов для теста в целом; запись в базу данных информации о результатах тестирования в целом и, возможно, результатов по отдельным модулям.

Подробный алгоритм выполнения операций для блока «Е» представлен на рисунке 2, при этом сокращение «ТЗ» означает «тестовое задание», а содержание проверок в блоках «Р1», «Р2», «Р3» будет пояснено в конце данного раздела.

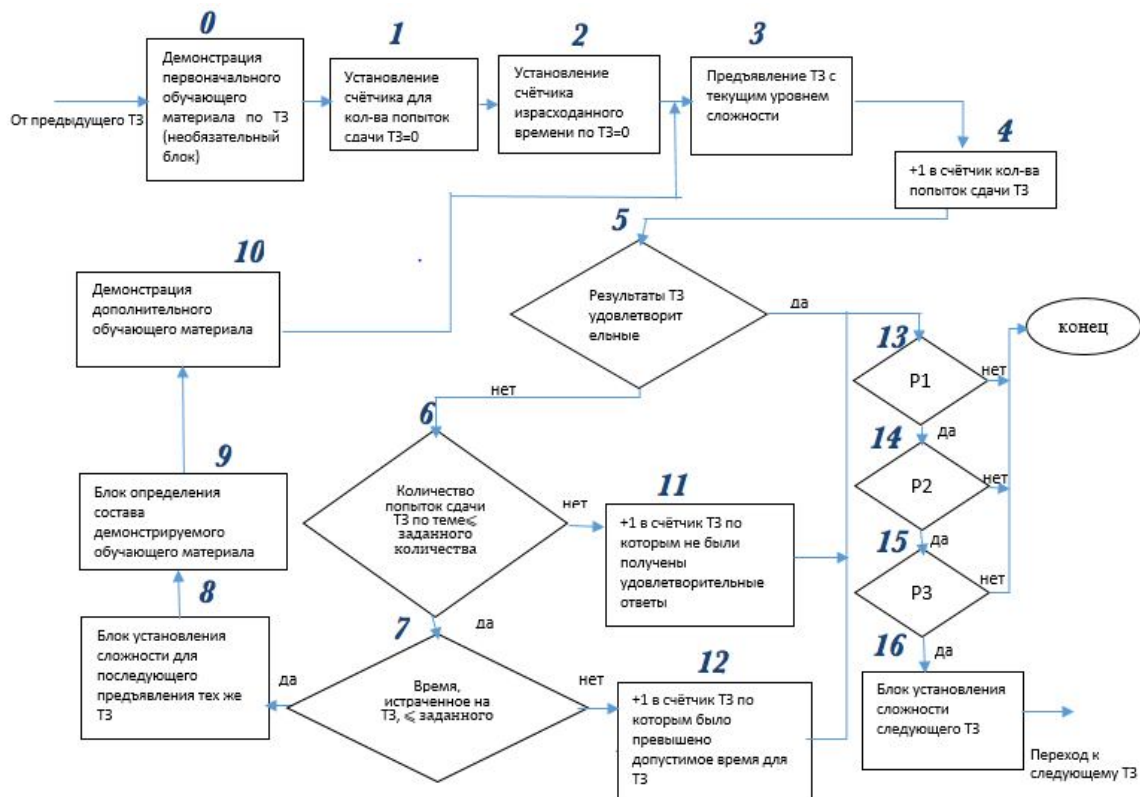


Рисунок 2 – Алгоритм организации адаптивного тестирования для одного модуля

Для установки уровня сложности последующего модуля (см. выше пункт «е5») может использоваться алгоритм «взвешенного усреднения» в скользящем окошке «выходных» уровней сложности по предшествующим модулям. Например, начиная с четвертого по порядку модуля, может применяться схема «взвешенной оценки результатов по последнему модулю и двум ему предшествующим» (блок 16 (рис. 2)). Рабочая формула для такой оценки по «скользящему окну» шириной «три позиции»:

$$Q = \left(\sum_{m=-2}^0 (C_m W_m) \right) / \sum_{m=-2}^0 (W_m), \quad (1)$$

где Q – усредненная оценка по трем предшествующим модулям; C_m – оценка результатов для m -го модуля; W_m – весовые коэффициенты (ВК) для результатов модулей – они соответствуют тем «уровням сложности», на которых произошел «выход» из модулей. На рисунке 3 индексация номеров модулей для формулы (1) размещена над осью. Оба суммирования в формуле (1) осуществляются с шагом «+1».

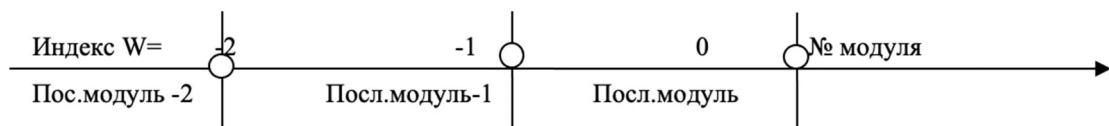


Рисунок 3 – К установлению сложности последующего модуля

В простейшем случае значения для всех трех ВК в формуле (1) могут быть взяты равными «+1». Однако возможны и варианты, в которых для результатов более «поздних» модулей задаются большие ВК. Например, «+1» – для последнего модуля, «+0,5» – для предшествующего модуля, «+0,25» – для «предпредшествующего».

Подчеркнем, что сложность для последующего модуля может быть взята выше, чем дает оценка Q по формуле (1).

Принудительные прерывания тестирования при работе с модулем представлены на рисунке 1. Р1. При превышении допустимого времени выбора ответа на КТЗ. Р2. «Использованы» все

попытки ответов на КТЗ, а результат неудовлетворителен. РЗ. Превышен лимит времени на работу с модулем, включая время знакомства с ОМ. Кроме того, прерывание теста может происходить по превышению любого из таких параметров: лимита времени на тест в целом; количества модулей, по которым были получены неудовлетворительные ответы; то же, но «просрочено» время ответа; предельное количество всех прохождений КТЗ, включая повторные. Таким образом, целесообразно использование счетчиков оставшегося времени, количеств попыток для КТЗ и т.п. Для ШМК такие счетчики лучше реализовывать наглядно – например, в виде «птицы, расклеивающей яблоко».

Программная реализация КОС и особенности использованных тестовых заданий. Прототип КОС был разработан в виде автономного ПС, устанавливаемого на каждой из ПЭВМ пользователей. Для реализации КОС была выбрана интегрированная среда разработки Microsoft Visual Studio, язык программирования C#, СУБД SQLite.

При этом в разные моменты времени на каждой из ПЭВМ могут работать разные пользователи. Управление доступом к КОС осуществляется с помощью пар «логин – пароль», которые индивидуальны для каждого пользователя. Последние могут принадлежать к двум категориям: «учитель» и «ученик». У лиц из этих категорий разные объемы (номенклатура) прав на работу с информацией. Если ПЭВМ работает в локальной сети под управлением сервера, то он может использоваться учителем для управления тестированием школьников, сбора и анализа результатов их работы с КОС. Если же применяются автономные ПЭВМ (вне сети), то перенос информации о результатах тестирования на ПЭВМ учителя (для накопления и анализа) возможен с помощью флэш-накопителей.

Получение ответов от тестируемых лиц предполагается в основном в следующих формах: щелчками мышью на объектах, используемых в КТЗ; щелчками на радиокнопках или на «чек-боксах» около объектов; для сенсорных дисплеев – касанием пальцами или стилусами выбираемых объектов, радиокнопок или «чек-боксов»; путем ввода ответов с клавиатуры; «прочерчивание» мышью связей между объектами (для КТЗ 3-го типа). В перспективе может быть реализовано и распознавание «голосовых ответов» тестируемых лиц.

Варианты объектов, используемых в КТЗ: рисунки, фрагменты фотографий, иконки и иные графические объекты; отдельные слова; фразы; цифры; числа. Для оценивания результатов ответов на КТЗ могут применяться как «четкие» подходы, так и «нечеткие» – преимущественно в отношении частично правильных ответов [2, 3].

В качестве основы для «информационной начинки» разработанного прототипа КОС была использована авторская программа А.В. Горячева *«Информатика и ИКТ»* [7]. Общее количество в ней тем по курсу – 28. Однако в рамках разработанного прототипа были реализованы модули только для некоторых тем. При этом были использованы КТЗ, допускающие изменение сложности, а также варианты с дополнительными ОМ.

При разработке модулей предполагалось, что ШМК умеют читать текст; пользоваться компьютерной мышью. В рамках КТЗ было максимально использовано наглядное представление всех объектов; выполнение действий преимущественно с помощью мыши – это щелчки на «чек-боксах» и радиокнопках, на изображениях объектов. Для заданий на «группировку объектов» (фактически это КТЗ 3-го типа на установление соответствий «объект – группа») используется технология «drag and drop» с перетаскивания изображений объектов в контейнеры (корзины) для групп.

В формулировках заданий части КТЗ критерии принятия решений школьниками не задаются в явной форме. Например, для КТЗ с вопросом типа «Отметь лишний предмет» тестируемый должен сам определить критерии отбора того, какой из предметов является лишним.

В перспективе в КОС целесообразно использование также оперативных комментариев (включая вербальные, воспроизводимые через индивидуальные наушники) действий пользователей, в том числе фраз «поощряющего» и «констатирующего» типа.

Накопление результатов тестирования ШМК, полученных с использованием КОС, в компьютерной базе данных потенциально обеспечивает следующие возможности: 1) при групповом тестировании – оперативное отображение на демонстрационных табло (дисплеях) фамилий «лидеров» в группах ШМК с учетом их количеств правильных ответов, количеств попыток, уровней сложности на выходе из модулей. Это, в свою очередь, может обеспечивать «соревновательный интерес» у школьников; 2) апостериорный анализ динамики прохождения модулей и изменения уровней сложности КТЗ в процессе тестирования для отдельных школьников; 3) выявление КТЗ, оказавшихся наиболее и наименее сложными для ШМК для последующего принятия решений по их корректировкам; 4) оценивание статистических характеристик итоговых результатов тестирования с использованием КОС для групп ШМК, выделенных по определенным критериям.

Апробация прототипа КОС была проведена на ШМК в школе № 37 г. Астрахани. Приведем результаты использования КОС для 1«А» класса весной 2019 г. Установка КОС была осуществлена

на школьном сервере, а работа с ней выполнялась в одном из компьютерных классов школы. Общее количество школьников – 20 (9 мальчиков, 11 девочек), причем четверо из них имели существенные нарушения зрения. Общее количество модулей в КОС – 6.

Применение КОС вызвало у школьников живой интерес, обеспечило их активную добровольную работу с системой. Все ученики, включая слабовидящих, успешно «прошли» все 6 модулей. Время на работу с КОС в целом и с отдельными модулями принудительно не ограничивалось. Фактические суммарные продолжительности работы по всем 6 модулям у разных школьников составили 12–18 минут (без серьезных различий у мальчиков и девочек). Из 20 школьников 12 человек прошли КТЗ во всех модулях с «первой попытки», что может говорить о целесообразности общего увеличения сложности заданий. Оставшимся 8 школьникам потребовались «повторные» попытки для модулей «Цвет предметов», «Форма предметов». При этом суммарное количество повторных попыток для всех восьми школьников составило 12, а «третьи попытки» не потребовались. Использование повторного прохождения КТЗ с измененными уровнями сложности позволило обеспечить усвоение школьниками материала по каждому из модулей до перехода к работе с последующими модулями. У обучающихся не было замечаний к КТЗ в отношении их понятности. Приведенная информация свидетельствует о рациональности подходов, принятых авторами при реализации прототипа КОС.

Заключение. 1. Обоснована актуальность создания и использования КОС при обучении, контроле знаний по информатике в школах России. Показано, что целесообразно использование четырехкомпонентной структуры КОС. 2. Рассмотрены основные типы КТЗ, которые могут быть использованы в КОС, а также подходы к управлению их сложностями. Приведены некоторые дополнительные возможности использования графических интерфейсов при отображении КТЗ и получении ответов на них. 3. Проанализированы возможные подходы к реализации в КОС «адаптивных» режимов управления сложностью КТЗ и ОМ, предназначенных для дообучения: внутри отдельных модулей и для совокупности модулей. 4. Подробно охарактеризованы методические принципы и алгоритмы, примененные в разработанном авторами прототипе КОС. 5. Описаны особенности программной реализации КОС, в том числе использования графических объектов, применения манипулятора типа мышь.

Библиографический список

1. Альтиментова Д. Ю. Применение адаптации при тестировании знаний в условиях компьютерного обучения / Д. Ю. Альтиментова, Н. И. Гданский // Преподаватель XXI века. – 2014. – № 4–1. С. 115–125.
2. Брумштейн Ю. М. Системный анализ вопросов компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов. Часть 1. Тестовые задания категорий «выбор из набора ответов» и «франжирование объектов» / Ю. М. Брумштейн, Д. И. Коновалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 4. – С. 57–71.
3. Брумштейн Ю. М. Системный анализ технологий компьютерного тестирования с использованием нечетких ответов. Часть 2. Тестовые задания категорий «на установление соответствия объектов» и «со свободным вводом ответов» / Ю. М. Брумштейн, Д. И. Коновалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 1. – С. 45–63.
4. Варченко В. И. ПМК «Радуга в компьютере» – технология игрового обучения в начальной школе / В. И. Варченко // Информатика и образование. – 2001. – № 3. – С. 86–93.
5. Горячев А. В. Практикум по информационным технологиям / А. В. Горячев, Ю. А. Шафрин. – Москва : Бино, 2016. – 272 с.
6. Горячев А. В. Информатика и ИКТ. Авторская программа / А. В. Горячев. – Режим доступа: <http://school2100.com/uroki/elementary/inform.php>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. Давыдова Н. А. Адаптивная организация процесса обучения на основе автоматизированной обучающей среды / Н. А. Давыдова // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2009. – № 1. – С. 32–38.
8. Каримов А. Т. Комплексная система адаптивного обучения и проверки знаний / А. Т. Каримов // Научный аспект. – 2012. – № 4–2. – С. 263–267.
9. Кравец О. Я. Адаптивное управление индивидуализацией обучения информатике: модели, алгоритмы, педагогическая технология / О. Я. Кравец. – Воронеж : ООО «Издательство Научная книга», 2012. – 243 с.
10. Кузьмина Н. Н. Адаптивные педагогические измерения для оценки результатов обучения / Н. Н. Кузьмина, А. А. Малыгин // Электронное обучение в непрерывном образовании. – 2017. – № 1. – С. 393–400.
11. Лента времени. Цикл специализированных компьютерных программ «Картина мира». Программа первая / О. И. Кукушкина, Т. К. Королевская, Е. Л. Гончарова. – [Прикладная программа] (205 Мб). – Москва : Полиграф сервис, 2002. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
12. Лобанева А. Р. Разработка программного продукта для оценки качества тестирования в рамках модели Раша / А. Р. Лобанева // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2013. – № 4–2 (56). – С. 52–57.
13. Матвеева Н. В. Информатика. Программа для начальной школы: 2–4 классы / Н. В. Матвеева, М. С. Цветкова. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 132 с. (<https://alleng.org/d/comp/comp288.htm>)

14. Наркулиев Б. Н. Анализ подходов к обеспечению информационно-телекоммуникационной компетентности населения и специалистов в Республике Туркменистан / Б. Н. Наркулиев, Д. И. Коновалова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии – 2019. – № 1. – С. 64–73.
15. Орлова Ю. А. Методы адаптации текстовой информации для лиц с ограниченными возможностями по зрению / Ю. А. Орлова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 210–219.
16. Лапшин К. А. Проблема доступа к информации для слабовидящих пользователей компьютерной техники и основные методы её решения / К. А. Лапшин // Доступность информации – ключ к образованию : материалы Всерос. науч.-практ. конф. незрячих специалистов. – Нижний Новгород : НИСОЦ, 2002. – С. 17–21.
18. Малкова Т. П. К вопросу о надомном обучении детей-инвалидов по зрению с комплексными нарушениями / Т. П. Малкова // Коррекционная педагогика: теория и практика. – 2015. – № 1. – С. 17–20.
19. Первин Ю. А. Роботландия : методическое пособие для учителя / Ю. А. Первин, А. А. Дуванов, Я. Н. Зайдельман, М. А. Гольцман. – Москва : Бюро Интеллектуальных Технологий, 1993. – 120 с.
20. Первин Ю. А. Курс «Основы информатики» для начальной школы / Ю. А. Первин // Информатика и образование. – 2002. – С. 12.
21. Плаксин М. А. Информатика. Программа для начальной школы: 2–4 классы / М. А. Плаксин, М. С. Цветкова. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 108 с.
22. Сальникова Н. А. Адаптивное тестирование как инструмент повышения качества учебного процесса / Н. А. Сальникова // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. – 2011. – Т. 8, № 10 (83). – С. 126–129.
23. Слинкина И. Н. Интеллектуальное развитие младших школьников в процессе раннего обучения информатике / И. Н. Слинкина // Педагогическое образование в России. – 2010. – № 4. – С. 9–14.
24. Соколов В. В. О проблемах преподавания современных информационных технологий инвалидам по зрению / В. В. Соколов // Проблемы социализации детей и молодежи с нарушением зрения : сб. ст. – Москва : Флинта ; Наука, 2004. – С. 109–114.
25. Старикова К. А. Сайт адаптивного тестирования / К. А. Старикова // Решение. – 2016. – Т. 1. – С. 182–184.
26. Хуторской А. В. Информатика и ИКТ в начальной школе : методическое пособие / А. В. Хуторской. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2015. – 348 с.

References

1. Altimentova D. Yu., Gdanskiy N. I. Primenenie adaptatsii pri testirovanii znaniy v usloviyakh kompyuternogo obucheniya [Application of the adaptation of knowledge in the context of computer training]. *Prepodavatel XXI veka* [Teacher of the XXI century], 2014, no. 4–1, pp. 115–125.
2. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz voprosov kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniem nechetkikh otvetov. Chast 1. Testovye zadaniya kategoriy «vybor iz nabora otvetov» i «ranzhirovanie obektov» [System analysis of computer testing questions using fuzzy answers. Part 1. Test tasks of the categories "selection from a set of answers" and "ranking of objects"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 4, pp. 57–71.
3. Brumshteyn Yu. M., Konovalova D. I. Sistemnyy analiz tekhnologiy kompyuternogo testirovaniya s ispolzovaniem nechetkikh otvetov. Chast 2. Testovye zadaniya kategoriy «na ustanovlenie sootvetstviya obektov» i «so svobodnym vvodom otvetov» [System analysis of computer testing technologies using fuzzy responses. Part 2. Test tasks of the categories "for establishing the compliance of objects" and "with free input of answers"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 1, pp. 45–63.
4. Varchenko V. I. PMK «Raduga v kompyutere» – tekhnologiya igrovogo obucheniya v nachalnoy shkole ["Rainbow in the Computer" – game learning technology in elementary school]. *Informatika i obrazovanie* [Informatics and Education], 2001, no. 3.
5. Goryachev A. V., Shafrin Yu. A. *Praktikum po informatsionnym tekhnologiyam* [Workshop on Information Technologies]. Moscow, Binom Publ., 2016. 272 p.
6. Goryachev A. V. *Informatika i IKT. Avtorskaya programma* [Informatics and information-communication technologies. Authors program]. Available at: <http://school2100.com/uroki/elementary/inform.php>
7. Davydova N. A. Adaptivnaya organizatsiya protsessa obucheniya na osnove avtomatizirovannoy obuchayushchey sredy [Adaptive organization of the learning process on the basis of an automated learning environment]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University], 2009, no. 1, pp. 32–38.
8. Karimov A. T. Kompleksnaya sistema adaptivnogo obucheniya i proverki znaniy [Comprehensive system of adaptive learning and knowledge testing]. *Nauchnyy aspekt* [Scientific aspect], 2012, no. 4–2, pp. 263–267.
9. Kravets O. Ya. *Adaptivnoe upravlenie individualizatsiei obucheniya informatike: modeli, algoritmy, pedagogicheskaya tekhnologiya* [Adaptive management of individualization of computer science training: models, algorithms, pedagogical technology]. Voronezh, «Publishing House Nauchnaya kniga» Ltd Co, 2012. 243 p.
10. Kuzmina N. N., Malygin A. A. Adaptivnye pedagogicheskie izmereniya dlya otsenki rezultatov obucheniya [Adaptive pedagogical measurements for assessing the results of training]. *Elektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii* [Electronic learning in continuing education], 2017, no. 1, pp. 393–400.
11. Kukushkina O. I., Korolevskaya T. K., Goncharova Ye. L. Lenta vremeni. Tsikl spetsializirovannykh kompyuternykh programm "Kartina mira". Programma pervaya [Tape of time. Cycle of specialized computer programs "Picture of the world". Program one]. [Applied programme] (205 Mb). Moscow, Poligraf servis Publ., 2002. 1 elektron. opt. disk (CD-ROM).

12. Lobaneva A. R. Razrabotka programmnoy produkta dlya otsenki kachestva testirovaniya v ramkakh modeli Rasha [Development of a software product for evaluating the quality of testing in the framework of the Rush model]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Kemerovo State University], 2013, no. 4–2 (56), pp. 52–57.
13. Matveeva N. V., Tsvetkova M. S. *Informatika. Programma dlya nachalnoy shkoly: 2–4 klassy* [Informatics. Program for elementary school: grades 2–4]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2012. 132 p. (<https://alleng.org/d/comp/comp288.htm>)
14. Narkuliev B. N., Konovalova D. I. Analiz podkhodov k obespecheniyu informatsionno-telekommunikatsionnoy kompetentnosti naseleniya i spetsialistov v Respublike Turkmenistan [Analysis of approaches to ensuring information and telecommunication competence of the population and specialists in the Republic of Turkmenistan]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2019, no. 1, pp. 64–73.
15. Orlova Yu. A. Metody adaptatsii tekstovoy informatsii dlya lits s ogranichennymi vozmozhnostyami po zreniyu [Methods of adaptation of text information for persons with visual disabilities]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 210–219.
16. Lapshin K. A. Problema dostupa k informatsii dlya slabovidyashchikh polzovateley kompyuternoy tekhniki i osnovnye metody ee resheniya [The problem of access to information for visually impaired users of computer technology and the main methods for solving it]. *Dostupnost informatsii – klyuch k obrazovaniyu : materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii nezryachikh spetsialistov* [Materials of All-Russian conference of blind specialists]. Nizhny Novgorod, NISOTs Publ., 2002, pp. 17–21.
17. Malkova T. P. K voprosu o nadomnom obuchenii detey-invalidov po zreniyu s kompleksnymi narusheniyami [To the question of home-based education of disabled children in vision with complex disabilities]. *Korrektionnaya pedagogika: teoriya i praktika* [Corrective pedagogy: theory and practice], 2015, no. 1, pp. 17–20.
19. Pervin Yu. A., Duvanov A. A. et al. *Robotlandiya : posobie uchitelya* [Robotland: methodological manual for teachers], Moscow, 1990.
20. Pervin Yu. A. Kurs «Osnovy informatiki» dlya nachalnoy shkoly [Course "Fundamentals of Informatics" for Primary School]. *Informatika i obrazovanie* [Informatics and Education], 2002, p. 12.
21. Plaksin M. A., Tsvetkova M. S. *Informatika. Programma dlya nachalnoy shkoly: 2–4 klassy* [Program for elementary school: grades 2–4]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2012. 108 p.
22. Salnikova N. A. Adaptivnoe testirovanie kak instrument povysheniya kachestva uchebnogo protsessa [Adaptive testing as a tool to improve the quality of the educational process]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Novye obrazovatelnye sistemy i tekhnologii obucheniya v vuze* [Izvestia Volgograd State Technical University. Series: New educational systems and educational technologies at the university], 2011, vol. 8, no. 10 (83), pp. 126–129.
23. Slinkina I. N. Intellektualnoe razvitiye mladshikh shkolnikov v protsesse rannego obucheniya informatike [Intellectual development of junior schoolchildren in the process of early training in informatics]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii* [Pedagogical education in Russia], 2010, no. 4, pp. 9–14.
24. Sokolov V. V. O problemakh prepodavaniya sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy invalidam po zreniyu [On the problems of teaching modern information technologies to visually impaired]. *Problemy sotsializatsii detey i molodezhi s narusheniem zreniya : sbornik statey* [Problems of socialization of children and youth with visual impairment : proceedings]. Moscow, Flinta Publ. ; Nauka Publ., 2004, pp. 109–114.
25. Starikova K. A. Sayt adaptivnogo testirovaniya [Adaptive Testing Site]. *Reshenie* [Decision], 2016, vol. 1, pp. 182–184.
26. Khutorskoy A. V. *Informatika i IKT v nachalnoy shkole. Metodicheskoe posobie* [Informatics and ICT in elementary school. Methodological manual]. Moscow, Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2015. 348 p.

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.133-148
УДК 62-529

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА МОДУЛЬНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ УЧЕБНЫХ ПРОЕКТОВ ПО РОБОТОТЕХНИКЕ В ВУЗАХ

Статья поступила в редакцию 01.05.2020, в окончательном варианте – 20.06.2020.

Волосатова Тамара Михайловна, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, кандидат технических наук, доцент, e-mail: tamaravol@gmail.com

Барсуков Дмитрий Александрович, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1, студент, e-mail: fieria.pirs@yandex.ru

Тамков Павел Игоревич, Астраханский государственный университет, 414040, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, студент, e-mail: ptamkov@ya.ru

Приведены цели и основные направления обучения студентов по направлению «Мехатроника и робототехника»: 15.03.06 – бакалавриат и 15.04.06 – магистратура. Указаны ключевые вузы, осуществляющие такое обучение. Проведен анализ современных требований к процессу проектирования робототехнических систем учебного назначения. Показано, что такой процесс и его результаты должны удовлетворять ряду требований, в том числе по полноте охвата изучаемых дисциплин; по использованию средств автоматизированного проектирования; по трудоемкости и срокам выполнения разработки проекта и его практической реализации; по выбору элементной базы реализации проекта с учетом необходимой функциональности разработки; по возможностям практической оценки работоспособности выполненной разработки, соблюдению всех предусмотренных в техническом задании функциональных требований. Охарактеризовано содержание понятия «принцип модульности» применительно к разработке робототехнических систем. Представлены преимущества разработки робототехнических систем с использованием принципа модульности, включая возможности формирования и применения библиотек, модулей и программных средств для них; оптимизации выбора модулей из таких библиотек; замены функционально близких модулей в ходе эксплуатации устройств и пр. Приведено краткое обоснование выбора программно-аппаратной платформы для исследования практических вопросов реализации принципа модульности. Процесс последовательной реализации этого принципа показан на примере ряда конкретных проектов. Эти проекты подробно охарактеризованы по следующим направлениям: определение назначения и функциональных возможностей разработки, поиск аналогов и анализ их возможностей; методика разработки конструкции с учетом использования принципа модульности; выбор конкретной элементной базы для проектов; обеспечение взаимозаменяемости модулей, разработки программных средств для модулей, тестирование модулей и устройств в целом; замена модулей в процессе эксплуатации и перенастройка программного обеспечения. Охарактеризованы возможные подходы к оценкам рациональности выбора технических решений в проектах, практической реализации этих проектов, их последующего использования, в том числе с заменой модулей. Сделан вывод о целесообразности создания общероссийского банка «модулей», программных средств для них, разработок на основе модулей. Такой банк может быть использован для сокращения трудоемкости выполнения конкретных разработок и, как следствие, расширения направлений учебного проектирования робототехнических систем.

Ключевые слова: мехатроника и робототехника, робототехнические системы, учебное проектирование, принцип модульности, функциональность разработок, реализация разработок, микроконтроллеры, датчики, исполнительные механизмы, программное обеспечение, примеры модулей, примеры устройств, тестирование устройств, общероссийский банк модулей

ANALYSIS OF DIRECTIONS FOR USING THE PRINCIPLE OF MODULARITY IN THE DEVELOPMENT OF TRAINING PROJECTS ON ROBOTICS IN UNIVERSITIES

Volosatova Tamara M., Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, building 1, 5 2-ya Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russian Federation, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: tamaravol@gmail.com

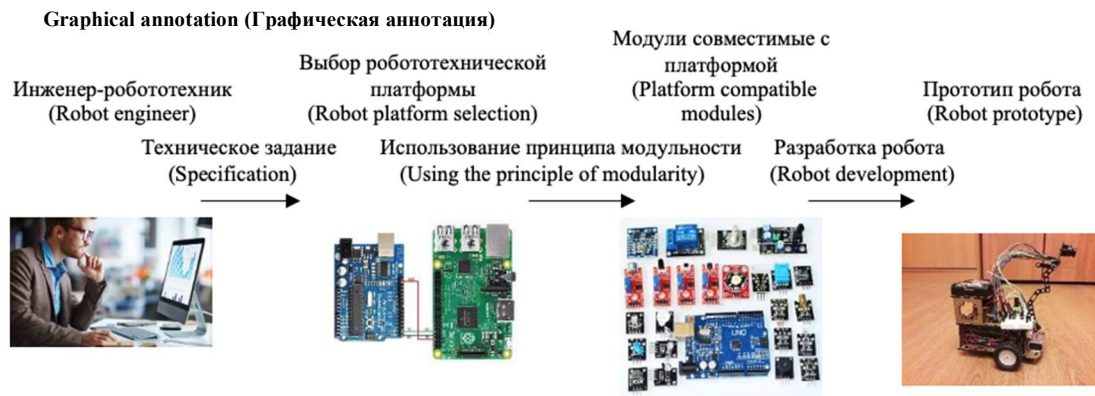
Barsukov Dmitry A., Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, building 1, 5 2-ya Baumanskaya St., Moscow, 105005, Russian Federation, student, e-mail: fieria.pirs@yandex.ru

Tamkov Pavel I., Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414040, Russian Federation, student, e-mail: ptamkov@ya.ru

The article analyzes the current requirements for the design process of robotic systems. The article discusses the application of the principle of modularity in the design of educational robotic systems based on the Arduino Uno platform. The use of this principle provides an almost unlimited set of capabilities for solving robotic problems. The authors present the main advantages of developing robotic systems using the principle of modularity. The process

of implementing the principle is shown on the example of projects: creating a weather station and a prototype of a search robot. The authors provide options for the use of weather stations for environmental monitoring. A brief review of existing autonomous weather stations has been carried out. The following is the process of modeling, assembling and tuning the copter. Particular attention is paid to the choice of components and their compatibility. In the work on the weather station, attention is paid to changing the configuration and writing a control program. When creating a prototype of a search robot, special attention is paid to setting up complex modules and component compatibility. The article describes in detail the process of connecting the camera to the search robot, presents the received image of the room and examples of object recognition in the image, and considers analogues of the weather station and the search robot. The strengths and weaknesses of the platform for creating complex robotic systems have been identified. At the end of the article presents conclusions about the use of the principle of modularity in practice.

Keywords: modularity principle, microcontroller, Arduino Uno platform, breadboard, Arduino IDE, weather station, gas sensors, temperature and humidity sensor, search robot, Wi-Fi module



Введение. Робототехника – это научно-техническое направление, занимающееся проектированием, изготовлением и использованием роботов [1]. Результат любого робототехнического проекта представляет собой автоматизированную техническую систему, обладающую набором функциональных возможностей. Робототехника позволяет создавать системы разной сложности, начиная с бытовых помощников, таких как роботы-пылесосы или роботы-ищейки и заканчивая беспилотными летательными аппаратами. В статье рассматривается использование робототехники в качестве интегрирующей основы нескольких дисциплин учебной программы вуза. При этом робототехника наблюдается как инструмент, посредством которого можно получить прикладные навыки по направлениям: конструирование, программирование микроконтроллеров, геометрическое моделирование, компьютерное зрение, интернет вещей, беспилотные летательные аппараты. Робототехника в образовании относительно новая и активно развивающаяся область. Поэтому понятийный аппарат данной области находится на стадии формирования. Предметом дискуссий является определение границ использования понятий «образовательная робототехника» и «робототехническое образование». Образовательная робототехника направлена на развитие у обучаемого интереса к робототехнической отрасли и ориентирована на средние образовательные учреждения. Робототехническое образование направлено на подготовку квалифицированных кадров для робототехнической отрасли и ориентировано на профессиональное образование в колледжах и вузах [2].

Задача инновационного развития экономики требует опережающего развития образовательной среды [3]. Во многих странах мира, таких как Австралия, Китай, Южная Корея, США, Сингапур, технические университеты самостоятельно или совместно с производственными компаниями (FANUC, RoboticsAmericanInc и другими) развивают программы образовательного направления для привлечения студентов к участию в робототехнических проектах [4]. В 2011 году в США на государственном уровне разработан план поддержки роботизации. С 2014 года Франция, Великобритания, Южная Корея и Япония уже рассматривают автономные транспортные средства и интеллектуальную робототехнику как приоритетные направления научно-технического развития. В странах – технологических лидерах период 2015–2050 гг. характеризуется революционной скоростью и масштабами роботизации. Основными ограничениями для массового внедрения роботов в России в современных условиях являются: отсутствие высококвалифицированных кадров по робототехнике и отсутствие доступных по цене серийных и массовых роботов российского производства [5].

Активное участие и поддержка российских и международных научно-технических и образовательных проектов в области робототехники и мехатроники позволит ускорить подготовку кадров, развитие новых научно-технических идей, обмен технической информацией и инженерными знаниями, реализацию инновационных разработок в области робототехники в России и по всему миру [6]. К сожалению, по большей части робототехническая часть учебного процесса заканчивается на этапе получения среднего образования. Курс по робототехнике в вузе с практической

направленностью программы, применением знаний из различных дисциплин учебной программы при разработке РТС и возможностью углубления и систематизации знаний из курса учебной программы помог бы решить эту задачу. Следует отметить, что особое внимание в курсе должно уделяться не сборке РТС, а процессу проектирования. В качестве подхода к проектированию рассматривается принцип модульности. Под модульностью РТС понимается способность к декомпозиции на ряд связанных модулей [7]. Многие исследователи применяли принцип модульности при разработке различных технических систем. Обзор применения модульности при проектировании сложных систем приводится в работе [8]. Основные концепции модульности при построении транспортных телекоммуникационных сетей рассмотрены в работе [9]. Описание этапов и перспектив развития модульного принципа при построении РТС представлено в статье [10].

Цель статьи – провести анализ направлений использования принципа модульности при разработке учебных проектов по робототехнике в вузах.

В работе применялись методы натурного моделирования системы и имитации технической системы с целью проверки работоспособности и совместимости компонентов, методика испытаний и контроля испытаний для проверки функциональных возможностей разработанных систем. При описании процесса разработки метеостанции особое внимание уделяется оценке принципа модульности на программном уровне. При создании робота-ищейки акцент делается на изменении конфигурации робота и совместимости компонентов.

1. Основные особенности учебных проектов по робототехнике, разрабатываемых в вузах России.

Функциональные. Робототехника в образовании способствует освоению нового и социально значимого пласта современной технической культуры: приобретению политехнических знаний и овладению техническими и технологическими компетенциями [11]. Особое значение робототехники заключается в реализации междисциплинарных связей. Обучение робототехнике позволяет не только выявлять и осознавать взаимосвязи дисциплин, но и систематизировать, обобщать знания различных дисциплин для последующего применения на практике [12]. Примером может послужить разработка модели корпуса РТС. Есть некоторые функциональные требования, ограничения к модели. Для их учета необходимо создать базовую геометрическую модель корпуса, в режиме симуляции проверить выполнение ограничений, например, по перемещению отдельных частей корпуса или максимальным напряжениям в узлах. В случае нарушения ограничений следует провести оптимизацию конструкции. Таким образом, для выполнения одной робототехнической задачи потребуются знания по дисциплинам: «Геометрическое моделирование», «Прикладная механика» и «Методы оптимизации».

Учитывая междисциплинарный характер принятия решений в ходе разработки РТС, возможно разделение работы на моделирование, расчетную, электротехническую и программную части. В таком варианте организации работы наиболее эффективной будет работа в небольших командах по 3–4 человека. Обучаемые смогут выбирать часть процесса разработки, которую бы хотели изучить более подробно. Работа в команде позволяет развить комплекс коммуникативных компетенций.

Робототехника в учебном процессе может быть представлена как:

- 1) область технического приложения дисциплин учебной программы,
- 2) инструмент современной технологии научного познания,
- 3) отдельная область технического знания.

В статье [12] рассматривается возможность применения робототехники в качестве специальной технологии обучения на занятиях по предметам естественно-математического цикла. Особо отмечается направленность обучения на формирование знаний и навыков, «позволяющих молодому поколению быть успешно интегрированным в современные социотехнические системы, эффективно поддерживать и развивать научно-технический потенциал общества». В процессе разработки РТС обучающиеся получают опыт реализации проектов по автоматизации, базовые знания электроники и схемотехники, навыки программирования цифровой и аналоговой техники.

Применение робототехники в контексте научного познания должно быть нацелено на знакомство обучаемых с новыми технологиями проведения научного исследования. Роботы могут применяться при постановке экспериментов, проведении наблюдений, диагностике состояния объектов.

Цель робототехники как отдельной дисциплины – это подготовка специалистов по разработке РТС: инженеров-исследователей, инженеров-конструкторов и инженеров-технологов. Обучение робототехнике как отдельной области технического знания необходимо для формирования практических навыков в решении конкретных технических задач. В ходе обучения могут решаться простые производственные задачи. Лучшие разработки могут использоваться при проектировании сложных РТС в качестве прототипов.

Аппаратно-технические. В основе любого проекта по робототехнике лежит понятие микроконтроллера. Микроконтроллер – это программируемая платформа, которая определяет работу сложных механических, электрических и программных систем, используя относительно простые команды. Внешне микроконтроллер представляет собой корпус, внутри которого размещены:

процессор, постоянное и оперативное запоминающие устройства, а также устройства периферии. Для работы с микроконтроллерами необходимо понимание устройства ЭВМ, базовые знания электроники и схемотехники. Кроме этого, необходимы знания физики, алгоритмов и принципов цифрового проектирования и программирования, специфичных для выбранного микроконтроллера. При выборе микроконтроллера особое значение имеет наличие учебной литературы и сайтов поддержки, в том числе поддержки эмуляции программного обеспечения. Также важным фактором является возможность подключения микроконтроллера к компьютеру для прошивки платы (вместо использования специальных программаторов, специфичных практически для каждого типа микроконтроллеров).

Согласно исследованию [13], наиболее популярными для организации занятий по робототехнике являются конструкторы Lego Mindstorms и платформа Arduino. Значительно менее распространены одноплатные компьютеры Raspberry Pi. Для изучения робототехники в учебном процессе компания Lego производит ряд тематических наборов, таких как «Технология и физика», «Пневматика» и «Возобновляемые источники энергии». Конструкторы в основном состоят из блока микроконтроллера, датчиков и всевозможных деталей, но для обучающегося являются малоинтересными. Обучаемый видит результат работы, но за результатом не видит системы – блоки остаются для него «черными ящиками» [14]. Стоимость базового набора Lego Mindstorms составляет 220\$, а для разработки РТС может потребоваться несколько наборов. В качестве альтернативы может быть рассмотрен современный микроконтроллер Raspberry Pi, средняя стоимость которого – 38\$. Некоторые исследователи выдвигают тезис о возможности использования одноплатного компьютера Raspberry Pi в системе образования. Так, в статье [15] рассматривается применение Raspberry Pi при обучении студентов сетевым технологиям. Разработчики Raspberry Pi также акцентируют внимание на обучающих возможностях платформы. Raspberry Pi представляет собой миниатюрный компьютер с возможностями обыкновенного ПК. Компьютер распространяется на четырехслойной печатной плате размером с пластиковую карту. Объем оперативной памяти составляет 1 Гб. При освоении Raspberry Pi определенные сложности могут быть вызваны отсутствием русскоязычных инструкций и сайтов поддержки. В этом отношении значительно опережает Raspberry Pi по количеству и качеству имеющихся ресурсов платформа Arduino. Многочисленные сайты поддержки, видеокурсы, большое количество практической и справочной литературы, интернет-площадки, форумы, а также развитая инфраструктура интернет-сообществ помогут найти ответ на любой вопрос о платформе.

Программно-технические. Выбор аппаратных средств во многом определяет программные средства. Так, программная часть конструктора Lego Mindstorms EV3 представлена специализированной графической средой разработки Lego EV3 Basic на основе LabView. Программное обеспечение наборов Mindstorms распространяется свободно. Среда разработки создана с целью обучения программированию. Следует отметить поддержку русскоязычного интерфейса, встроенную справочную систему и большое количество готовых примеров. Измерительные системы на базе Lego Mindstorms могут в режиме реального времени передавать полученные данные через USB, Wi-Fi или Bluetooth [11]. Помимо графической среды программирования Lego, существуют программы управления роботами Mindstorms (для Android и iPhone/iPad) и программы для просмотра и создания пошаговых 3D-инструкций по сборке роботов (на основе Autodesk Inventor Publisher).

Одноплатный компьютер Raspberry Pi в отличие от микрокомпьютера Mindstorms по умолчанию оснащен высокоуровневыми и визуальными языками программирования. Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby устанавливаются на Raspberry Pi по умолчанию. При создании проектов в сфере интернета вещей могут быть использованы языки JavaScript, HTML5 и CSS3. Для одноплатного компьютера Raspberry Pi было разработано несколько операционных систем. Каждая система представляет собой дистрибутив Linux. Официальная операционная система Raspberry Pi – Raspbian. Она содержит веб-браузер, почтовый клиент, офисный пакет LibreOffice и некоторые инструменты обучения программированию. Дистрибутив Raspbian ориентирован на начинающих пользователей платформы. Другие дистрибутивы имеют специфические особенности. Например, дистрибутив Archlinux содержит только базовую систему без графического окружения, Pi Musicbox рассчитан на работу с музыкой, Openlec ориентирован на работу с медиаустройствами. В одной из обзорных статей о Raspberry Pi [16] рассматривается возможность ее модульного применения. Исследователи отмечают, что решения на основе Raspberry Pi могут быть полезны при построении более сложных технических систем. При наличии программных достоинств платформы следует отметить недостаточное для создания учебного курса по робототехнике количество русскоязычной справочной литературы, инструкций, интернет-курсов, описаний проектов. В то время как ключевым принципом выбора платформы для учебной программы должна быть доступность информации. В этом отношении явным преимуществом обладает платформа Arduino. Разработчики Arduino предоставляют онлайн-контент для студентов, а также обучение и поддержку преподавателей. Документация по языку программирования Arduino представлена в русскоязычных источниках.

Программное обеспечение Arduino IDE работает под управлением операционных систем Linux, Windows, Macintosh OS X и распространяется свободно. Программные средства Arduino включают в себя среду разработки и программный модуль, размещенный в секции загрузчика флеш-памяти микроконтроллера [17]. Загрузчик (Boot loader) реализует обновление области флеш-памяти. Наличие загрузчика позволяет загружать код в микроконтроллер через USB без использования специальных программаторов. Язык программирования устройств Arduino основан на C++ и дополнен набором библиотек аппаратных модулей. Помимо стандартного языка программирования могут быть использованы визуальные языки, такие как Visuino, Scratch, ArduBlock и FLProg. Arduino может взаимодействовать с Python через библиотеку PySerial. Также можно использовать пакет Matlab Simulink для интерактивного взаимодействия с Arduino. При загрузке программы в микроконтроллер среда разработки подключается к аппаратной части Arduino по USB-интерфейсу в режиме виртуального COM-порта.

Программно-технические средства разработки РТС не ограничиваются микроконтроллерным программированием. В большинстве робототехнических проектов активно применяются CAD-системы. Так программная система от MIT [18] позволяет проектировать и моделировать корпус коптера, симулировать поведение коптера в полёте. Пользователь системы может варьировать размеры, форму и структуру летательного аппарата, учитывать полезную нагрузку, стоимость деталей, время полета и другие параметры. Другая программная система интерактивного проектирования [19] упрощает процесс разработки колесных роботов. Пользователь работает с библиотекой компонентов. При выборе очередного компонента система предлагает возможные варианты его размещения и генерирует конструктивные элементы для подключения нового компонента. Система обеспечивает симуляцию среды для тестирования, в ходе которого пользователь может скорректировать проект для достижения желаемых параметров конструкции робота.

2. Использование принципа модульности при разработке учебных проектов в сфере робототехники. Модульный принцип построения и проектирования РТС впервые был реализован организацией ЦНИИ РТК в 1980-х годах в СССР [10]. Организация ЦНИИ РТК разработала 15 мобильных роботов различной конфигурации. При производстве роботов использовались готовые модули. Задача роботов заключалась в измерении радиационного фона и очистке территории станции от радиационного мусора. В процессе эксплуатации появилась необходимость замены частей роботов. Использование модульного подхода позволило оперативно изменять конфигурацию роботов непосредственно на месте работ.

Современные тенденции и методологии производства РТС выдвигают новые требования к структурной организации процесса проектирования. Выбор конструктивного подхода к процессу проектирования определяет оперативность и эффективность производства. На стадии технического задания у инженера-робототехника должны быть определены критерии будущей системы. Реализуемая система должна выполнять свое назначение, быть гибкой, расширяемой, обладать необходимыми функциональными возможностями. Процесс разработки системы, удовлетворяющей этим критериям, может быть достаточно трудоемким. Для решения поставленной задачи целесообразно применить модульный подход, который обеспечит вариативность в применении системы в сочетании с низкой стоимостью эксплуатации. Например, пользователю необходима система для измерения климатических и экологических показателей окружающей среды. Он может реализовать работу двух независимых модулей. Модуль климатической станции может сообщать значения температуры, влажности, давления и освещенности, а экологический модуль – измерять концентрацию углекислого газа и метана в воздухе. Разделение системы на модули может производиться как по функциональному признаку, так и по способу подключения элемента. Например, датчики газа серии MQ (рис. 1) имеют общую схему подключения (5V, GND, Digital Output, Analog Output), одинаковые требования к входному напряжению – 5V и потребляемому току – 130–140 мА. По причине унификации способа подключения датчики газа могут быть рассмотрены как отдельные модули. Следует отметить, что большая часть аналоговых и цифровых датчиков Arduino имеет общую схему подключения.

Модульная архитектура решает проблему увеличения сложности систем, состоящих из нескольких функциональных блоков. Также она обеспечивает оперативную взаимозаменяемость модулей и возможность изменения конфигурации системы. Концепция модульности является универсальной, и поэтому применяется при разработке различных систем. Модульные системы состоят из подсистем, которые могут быть перенастроены в соответствии с требованиями пользователей. На рисунках 2 и 3 представлена линейная и модульная структуры из n элементов. При проектировании модульных систем каждый модуль представляет собой независимый функциональный блок. Он может состоять как из одного, так и из нескольких элементов. Между каждым модулем должна быть установлена связь для их совместной работы. При внесении функциональных изменений в систему необходимо изменить конкретный модуль. Изменения или неисправности в одном модуле не влияют на работу остальных. Это является характерным отличием модульных и линейных систем.



Рисунок 1 – Датчики газа серии MQ: MQ-2 – пропан C_3H_8 , метан CH_4 , н-бутан C_4H_{10} ; MQ-3 – пары C_2H_5OH ; MQ-4 – природный газ; MQ-5 – метан CH_4 , пропан C_3H_8 ; MQ-6 – сжиженный нефтяной газ; MQ-7 – угарный газ CO ; MQ-8 – H_2 ; MQ-9 – угарный газ CO , метан CH_4 ; MQ-135 – аммиак NH_3 , оксиды азота NO_x , углекислый газ CO_2

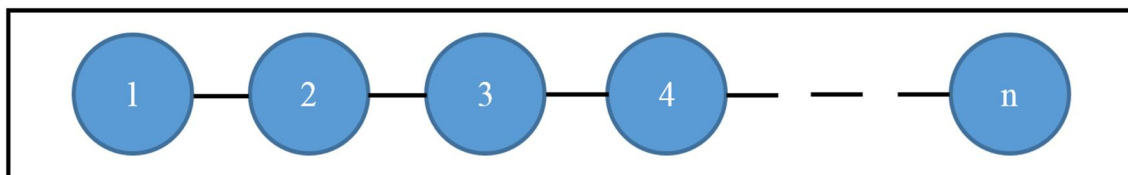


Рисунок 2 – Линейная структура из n элементов

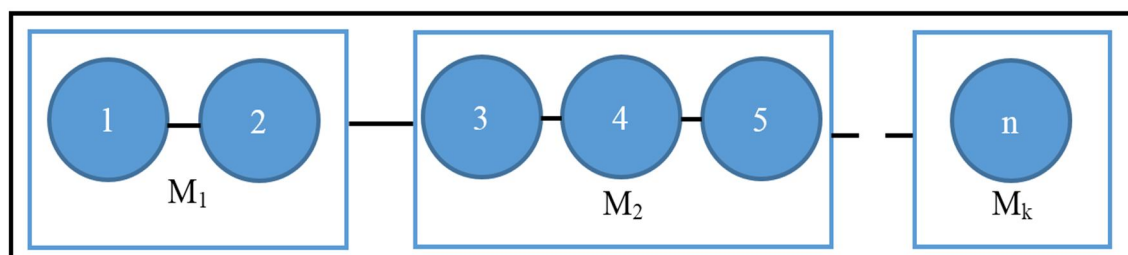


Рисунок 3 – Модульная структура из n элементов

Процесс модульного проектирования можно также проиллюстрировать на примере платформы Arduino.

Основа базового модуля Arduino Uno – микроконтроллер ATmega328p с тактовой частотой 16МГц. Модуль имеет 14 цифровых и 6 аналоговых входов/выходов. Такого количества достаточно для разработки различных электронных устройств. Объем флеш-памяти микроконтроллера составляет 32 Кб, из которых 0,5 Кб используются для загрузчика, а также 2 Кб оперативной памяти. Рекомендуемый диапазон внешнего питания микроконтроллера от 7 до 12 В. Связь Arduino с компьютером реализуется посредством UART интерфейса через выводы платы RX и TX. Среда разработки Arduino подключается к микроконтроллеру по USB-интерфейсу через виртуальный COM-порт. Также для платформы Arduino разработаны специальные радиомодули, реализующие связь с микроконтроллером по каналам Wi-Fi и Bluetooth, силовые модули, управляющие сервоприводами и двигателями, модули работы с LCD дисплеями, видекамерой, Ethernet модуль и другие. Реализация принципа модульности при выделении функциональных подсистем может осуществляться с использованием модулей беспроводной связи. Так модули беспроводной связи nRF24L01+, Wi-Fi-модуль ESP8266, Bluetooth-модуль HC-06, XBee, GPRS Shield v3 предназначены главным образом для общения между устройствами. В режиме общения может производиться отправка команд исполнительным устройствам, беспроводной опрос датчиков и передача изображений. Wi-Fi-модуль на основе микросхемы ESP8266B целесообразно использовать в образовательных проектах. По модулю доступно большое количество справочной литературы. Arduino Uno взаимодействует с ESP8266 через UART-интерфейс с помощью набора AT-команд. Напряжение питания модуля – 3,3 В. Объем флеш-памяти ESP8266 – 64 Кб, оперативной памяти – 96 Кб. Wi-Fi-модуль на основе ESP8266 является мощным инструментом организации беспроводной связи в проектах интернета вещей. В качестве исполнительных устройств Arduino могут быть рассмотрены сервоприводы и двигатели. Сервоприводы реализуют принцип работы систем

с отрицательной обратной связью. Они контролируют и поддерживают скорость вращения моторов, манипуляторов и захватов. Сервоприводы Arduino FS5519M, FS5109M, FS5106B используются для установки и удерживания угла поворота колеса. Приводы различаются величиной крутящего момента, но имеют общую схему подключения (5V, GND, Digital Output) и подключаются непосредственно к микроконтроллеру. В отличие от сервоприводов моторы нельзя подключить к плате напрямую. Выводы микроконтроллера Arduino Uno являются слаботочными, поэтому подключение моторов напрямую к плате может вывести их из строя. Эту проблему решает H-мост. В проекте робот-ищейка использовались моторы-редукторы с передаточным 1:75 и скоростью холостого хода 200 об/мин. Для взаимодействия РТС с внешним миром используются датчики расстояния HC-SR04, датчики освещенности, температуры и влажности DHT11, различные газовые анализаторы, датчики давления и другие. Большинство датчиков Arduino имеют единую схему подключения. Это позволяет оперативно изменять конфигурацию РТС.

Во многих отраслях промышленности отмечают переход к новому виду продукции, состоящей из стандартных функциональных блоков – модулей. Применение модульной архитектуры способствует развитию гибкости и экономической эффективности процесса производства, позволяет упростить отладку отдельных компонентов и сократить время разработки РТС. Модульность при разработке РТС распространяется как на аппаратную, так и на программную часть решения. На аппаратном уровне использование принципа модульности обеспечивает безопасную проверку совместимости компонентов и дает возможность изменения конфигурации РТС в процессе разработки. Принцип модульности на программном уровне заключается в написании кода для каждого отдельного модуля независимо от основной части кода будущей системы. На этом этапе производится отладка программы, калибровка модуля, проверка работоспособности. Далее модуль безопасно подключается в работающую систему. Такой подход локализует возможные программные ошибки и исключает возможность повреждения системы при добавлении и удалении модулей.

3. Примеры реализации принципа модульности при разработке учебных проектов в сфере робототехники.

Метеостанция. В наше время проблема экологии приобрела особое значение. В районах, находящихся в непосредственной близости к сильно загруженным автомобильным дорогам, аэродромам, заводам, вопрос загрязненности окружающей среды является ключевым. Стационарные и передвижные лаборатории не могут дать подробную информацию об экологическом состоянии в труднодоступных местах. Например, вблизи свалок мусора или в местах захоронения радиоактивных отходов они не смогут произвести замеры. В то время как беспилотный летательный аппарат может в короткий срок провести измерения на обширной территории, включая труднодоступные места. Это позволит отслеживать экологическую обстановку и своевременно выявлять нарушения [20]. Так возникла идея разработки метеостанции с экологической функцией на базе беспилотного летательного аппарата. На начальном этапе проекта поставлены задачи: создание метеостанции (микро-лаборатории), определение способа сбора данных и их записи на коптере, сборка летательного аппарата, установка метеостанции на борт коптера и проверка работоспособности аппарата. В результате анализа плат линейки Arduino в качестве основы метеостанции был выбран микроконтроллер Arduino Uno. Также был проведен сбор информации об устройстве и конструировании коптера. Экспериментальный метод позволил проверить функциональность аппарата на практике.

Основным критерием при создании любой РТС является возможность ее дальнейшей модернизации. В процессе создания метеостанции на платформе Arduino Uno необходимо тестировать работоспособность каждого сенсора (рис. 4), в случае неисправности заменять, а также добавлять новые модули. Принцип модульности позволил подключать новые сенсоры в работающую модель, а также проводить замену используемых датчиков. При выходе из строя датчика температуры и влажности DHT11 была сразу проверена работоспособность нового датчика для его замены. При тестировании каждого модуля были написаны отдельные программы, поэтому замена любого датчика в системе может быть проведена оперативно и без риска для всей системы. Код программы, написанный в среде разработки Arduino, может быть изменен или дополнен. В работающую систему встроены IMU-модуль для измерения высоты. Для его тестирования была написана отдельная программа. После проверки ее работоспособности был дополнен код основной программы.

Управляющая программа для совместной работы всех модулей была написана в соответствии с принципом модульности. Это значительно упростило ее отладку и ускорило процесс разработки метеостанции. Вначале были написаны программы для каждого сенсора и модуля отдельно, затем программы были объединены в основной скетч. Использование модульного подхода на программном уровне уменьшило область поиска возможных программных ошибок и сократило время разработки [7]. На рисунке 5 представлен фрагмент кода, отвечающий за запись на SD-карту.

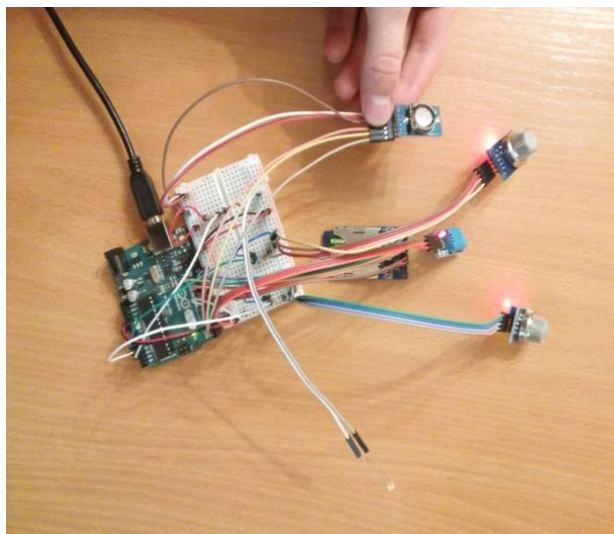


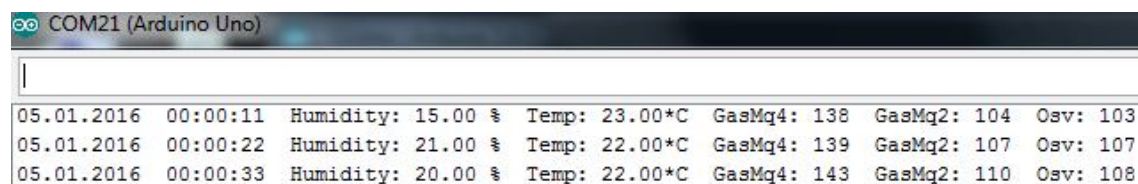
Рисунок 4 – Подключение датчиков к метеостанции: плата управления Arduino Uno, макетная плата, датчики газа: MQ-2 – пропан C_3H_8 , метан CH_4 , н-бутан C_4H_{10} , MQ-4 – природный газ; датчик температуры и влажности DHT11, модуль реального времени DS1302, SD card модуль [15]

```
void SDcardWrite() // Создаю функцию, для записи на SD card.
{
  myFile = SD.open("dimasens.txt", FILE_WRITE);
  // if the file opened okay, write to it:
  if (myFile) {
    Serial.print("Writing to dimasens.txt...");
    // начинается запись на SD card в файл dimasens.txt
    myFile.print(rtc.getDateStr()); // текущую дату.
    myFile.print(" -- ");
    myFile.print(rtc.getTimeStr()); // текущее время.
    myFile.print(" -- ");
    myFile.print("Humidity: ");
    myFile.print(dht.readHumidity()); // значения влажности.
    myFile.print(" %\t");
    myFile.print("Temperature: ");
    myFile.print(dht.readTemperature()); // значения температуры.
    myFile.print(" *C");
    myFile.print("    GasMq4: ");
    myFile.print(Mq4Value);
  }
}
```

Рисунок 5 – Запись результатов измерений на SD-карту

В void setup создана функция SDcardWrite() для записи данных: после открытия файла печатается: дата, время, влажность, температура и другие показания, затем функция void loop() итерационно повторяет запись в файл для постоянной регистрации данных. Для некоторых модулей использовались готовые библиотеки: библиотека SD для записи результатов эксперимента на карту памяти, библиотека DS1302 для регистрации реального времени, библиотека DHT для настройки датчика температуры и влажности. Использование готовых библиотек значительно сократило время разработки метеостанции.

Следует отметить, что при подключении новых датчиков или замене установленных отсутствует необходимость написания новой управляющей программы после каждого изменения. Достаточно добавить в используемую программу часть кода для новых датчиков. Так добавлен код для датчика MQ4, регистрирующего угарный газ. Фрагмент кода с добавленным датчиком показан на рисунке 5. Аналогично в состав датчиков метеостанции может быть добавлен, например, датчик сероводорода MQ136. Это позволяет установить в РТС практически неограниченное количество сенсоров, что является отличительной характеристикой и преимуществом разработанной метеостанции [20]. После тестирования модулей и написания программы были получены результаты измерений, представленные на рисунке 6.



Time	Humidity	Temp	GasMq4	GasMq2	Osv
05.01.2016 00:00:11	15.00 %	23.00°C	138	104	103
05.01.2016 00:00:22	21.00 %	22.00°C	139	107	107
05.01.2016 00:00:33	20.00 %	22.00°C	143	110	108

Рисунок 6 – Формат вывода данных измерений

Трудоемкость разработки части кода отдельных модулей заключалась в написании библиотек и калибровке каждого модуля. При объединении кода модулей в основной скетч необходимо учитывать их совместимость и ограниченное количество входов Arduino Uno. Использование части кода готовых библиотек в некоторых случаях приводило к конфликтам при объединении кода модулей в основной скетч. Чувствительность каждого датчика устанавливалась программно, поэтому при измерении показателей, например, на улице и в домашних условиях производилась настройка чувствительности датчиков.

Были рассмотрены готовые метеостанции. Большинство из них имеет ограниченный набор сенсоров. Например, модель Ea2 ED603 имеет датчик температуры, влажности и давления и встроенные часы. Стоимость метеостанции составляет 1390 руб. Модель RST 02777 помимо функциональности Ea2 ED603 имеет два слота для добавления дополнительных датчиков и функцию прогноза погоды. Стоимость RST 02777 – 8390 руб. Оба устройства имеют дисплеи. В рассмотренных метеостанциях отсутствует возможность модернизации и передачи данных на ПК. Стоимость разработанной метеостанции – менее 1500 руб. Результаты измерений сохраняются на SD-карту. В зависимости от задачи функциональный состав метеостанции может быть изменен. Функциональность и степень сложности РТС (в данном контексте метеостанции) влияют на состав их компонентов, которые являются или могут быть (для проектируемых устройств) объектами интеллектуальной собственности. Поэтому необходим детальный анализ этих компонентов и их взаимосвязей с позиций прав интеллектуальной собственности [21].

В окончательную версию метеостанции вошли следующие модули:

- 1) плата управления Arduino Uno;
- 2) макетная плата;
- 3) датчик MQ-2 для фиксации: пропана C₃H₈, метана CH₄, н-бутана C₄H₁₀;
- 4) датчик MQ-4 для фиксации природного газа;
- 5) IMU-модуль для измерения высоты и давления;
- 6) датчик освещенности;
- 7) датчик температуры и влажности DHT11;
- 8) модуль реального времени DS1302;
- 9) SD card модуль.

Результаты измерений каждого датчика сохраняются в файле на SD-карте. Обработка данных осуществляется на ПК. Для упрощения процесса получения данных возможно подключение wi-fi-модуля для отправки результатов измерений на сервер. Существует множество сервисов для обработки результатов измерений Arduino, например, google-гистограммы, сервер SVMonitor и другие.

Следующий этап посвящен моделированию, конструированию и настройке коптера. Разработка моделей РТС в виртуальной среде позволяет инженерам находить наиболее эффективные конструктивные и функциональные решения [12]. Геометрическое моделирование, прочностной анализ, топологическая оптимизация конструкции РТС могут быть выполнены в САД-системе NX. Так, в проекте метеостанции созданы модели верхней и нижней площадок центральной рамы и лучей коптера. На их основе реализована сборка рамы коптера (рис. 7а, б). Модель луча разбита на конечные элементы, заданы нагрузки и ограничения (рис. 8). В приложении «Расширенная симуляция» произведен прочностной анализ луча коптера (рис. 9). Дополнительно могут быть использованы приложения «Анимация» и «Топологическая оптимизация» NX. Приложение «Анимация» позволяет визуализировать движения конструкции при заданных нагрузках, «Топологическая оптимизация» – уменьшать массу конструкции за счет усложнения формы деталей. Изначально планировалось проводить измерения на квадрокоптере. Однако выбор небольшого количества двигателей предполагает увеличение их мощности для подъема дополнительного оборудования и не гарантирует стабилизацию при зависании на определенной высоте, необходимую для проведения измерений. Кроме того, при выходе из строя одного из моторов квадрокоптера совершить посадку без повреждений конструкции коптера и метеостанции крайне трудно, в то время как посадка гексакоптера в аналогичной ситуации возможна.

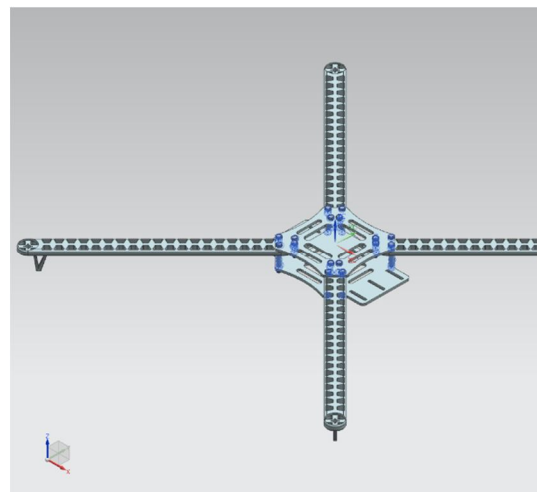
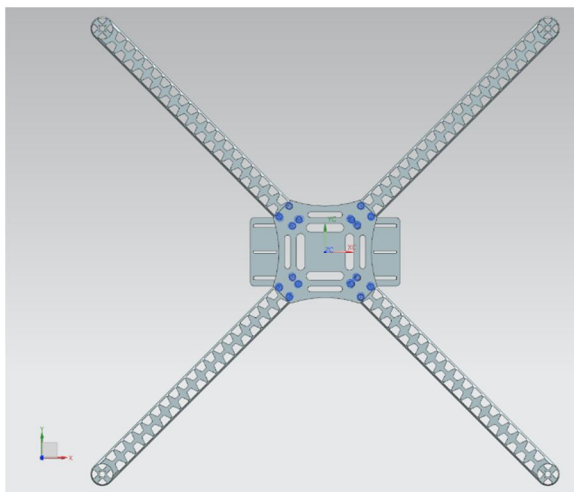


Рисунок 7 – а, б Модель рамы квадрокоптера в NX

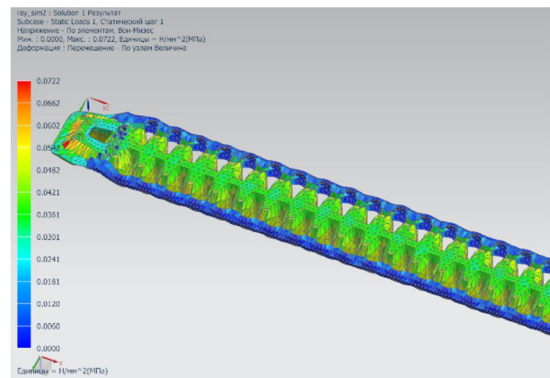
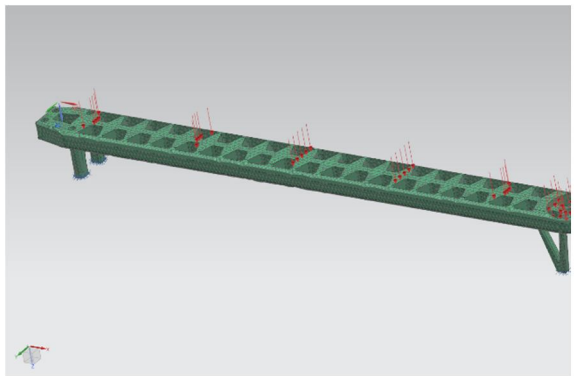


Рисунок 8 – Задание нагрузок и граничных условий

Рисунок 9 – Режим симуляции

Рассмотрим более подробно процесс сборки рамы гексакоптера. На плате разводки питания (рис. 10) есть готовые разъемы для установки лучей и телеметрии. К каждому лучу припаяны провода питания от регуляторов, к двум лучам – светодиоды для определения передней части коптера в воздухе, переходник для аккумулятора и преобразователь напряжения, к левому лучу провод от антенны. Все необходимые отверстия на плате для установки лучей и телеметрии сделаны производителем. Была использована рама F550 с шестью лучами, обладающая повышенной устойчивостью. На рисунке 11 она уже собрана, моторы и телеметрия не отрегулированы. Антенна GPS установлена на верхней части коптера, для того чтобы другие элементы коптера не влияли на магнитное поле вокруг датчика. Моторы прямого и обратного вращения устанавливались произвольно.

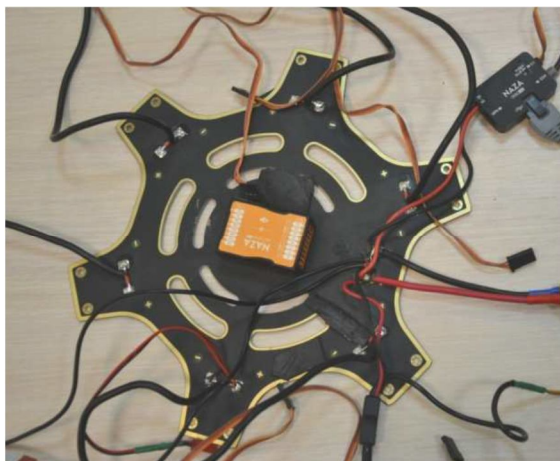


Рисунок 10 – Пайка платы разводки питания

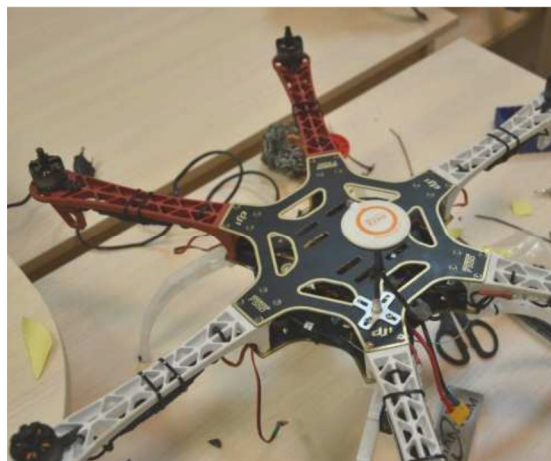


Рисунок 11 – Сборка рамы гексакоптера

При установке метеостанции на борт (рис. 12) пришлось удлинить провода для датчиков газа, поскольку воздушный поток затягивался моторами коптера на расстоянии 20 см. К боковой части бокса потребовалось приклеить две гибкие трубки из стекловолокна, а к ним присоединить провода от датчиков газа для закрепления их в необходимом положении. Сенсоры освещенности, температуры и влажности расположены на боковой части бокса, датчик давления и высоты – внутри. Бокс расположен на верхней части коптера.

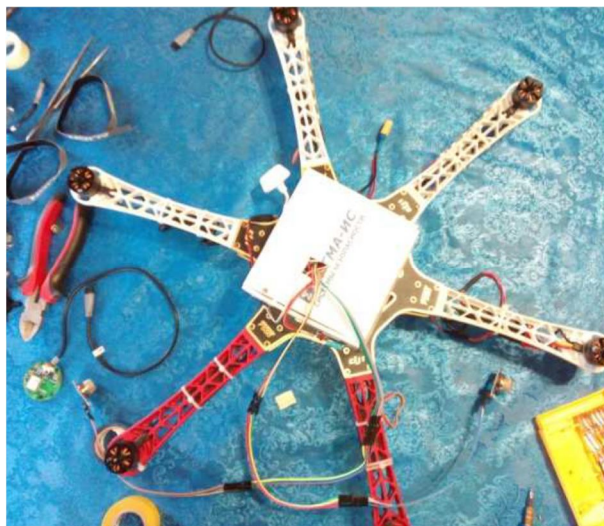


Рисунок 12 – Установка метеостанции



Рисунок 13 – РТС Гексакоптер-эколог

В результате работы создана метеостанция и осуществлена запись данных на карту памяти. Собирается летательный аппарат, на него установлена метеостанция. Аппарат готов к работе. Проведены тестовые полеты с метеостанцией на борту в лабораторных и полевых условиях. Созданный гексакоптер-эколог (рис. 13) будет актуален для детального мониторинга конкретного района [20].

Робот-ищейка. Рассмотрим другой пример использования принципа модульности. В ходе создания робота-ищейки были сформулированы основные задачи: разработать проект и конфигурацию робота, способного проходить по маршруту согласно алгоритму, распознавать на изображении с камеры препятствия и объезжать их [22]. Для каждого модуля необходимо было проверить совместимость с другими компонентами, подключить модуль к плате, провести его настройку, протестировать функции отдельных модулей и платы Arduino Uno, собрать единый роботизированный комплекс. В работе использован микроконтроллер Arduino Uno, для управления моторами – плата расширения motor shield. Блок питания робота состоит из 5 батареек AA 1.5V. Также был добавлен ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04 для обнаружения препятствий. Поскольку основная цель робота – поиск объектов, необходим инструмент, позволяющий определить, является ли объект препятствием или объектом поиска. Распознавание объекта является отдельной задачей, поскольку ресурсов памяти микроконтроллера для ее решения недостаточно. Идея создания прототипа робота-ищейки заключалась в том, чтобы робот при обнаружении препятствия мог получить изображение с использованием видекамеры OV7670 и отправить его на сервер посредством wi-fi-модуля (на основе ESP 8266). Распознавание объектов должно производиться на сервере. Поскольку в статье речь идет о создании прототипа робота-ищейки, робот должен отделять препятствия, такие как стены, двери от небольших объектов. Распознавание конкретных объектов является одним из возможных путей развития проекта.

В качестве аналога для прототипа робота-ищейки могут быть рассмотрены роботы TurtleBot. Они способны строить карту и одновременно перемещаться по комнате. TurtleBot имеет специальное приспособление для манипулирования объектами. TurtleBot может быть перенастроен для поиска объектов в помещении. Функциональные возможности роботов TurtleBot гораздо шире, чем у прототипа робота-ищейки. Например, во время составления карты робот может отмечать на карте найденные объекты. Стоимость робота составляет 549\$. Стоимость компонентов робота-ищейки составляет менее 15\$. Обе системы способны выполнять поиск объектов в помещении.

Для каждого модуля, представленного на принципиальной электрической схеме (рис. 14), проводилось тестирование. К микроконтроллеру отдельно подключался датчик расстояния, производилась его калибровка. Когда расстояние до препятствия было меньше установленного, подавался звуковой сигнал с использованием пьезо-пищалки. Впоследствии была произведена корректировка

расстояния до препятствия с учетом скорости движения. Посредством motor shield к микроконтроллеру подключен отдельно каждый мотор. Из-за качества изготовления скорости вращения моторов не совпадали (было испробовано несколько идентичных по характеристикам моторов). Добиться компенсации эффекта удалось программно: подбором сигналов, определяющих скорости вращения моторов. Аппаратно избежать асинхронного вращения моторов можно с помощью энкодеров: колес с чередующимися светлыми радиальными полосами и дополнительными датчиками цвета (рис. 16а). Количество светлых полос на колесе эквивалентно полному обороту. Программно можно отслеживать количество оборотов каждого колеса и при несовпадении увеличивать скорость вращения колеса с меньшим количеством оборотов.

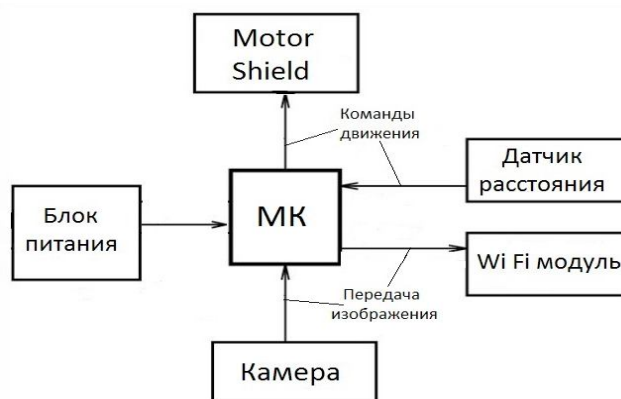


Рисунок 14 – Принципиальная схема робота-ищейки

Следующим этапом после определения состава комплектующих стало написание управляющей программы. Программа была разделена на две части: блока, отвечающего за движение робота по установленному алгоритму, и блока работы с камерой. Вначале был написан блок работы с моторами. Для подключения моторов на верхней части микроконтроллера установлен Motor Shield. Для работы с ультразвуковым датчиком расстояния до препятствия была написана программа, добавленная впоследствии в основной скетч.

Главное назначение робота – поиск предмета в помещении. Предмет может находиться в любой точке помещения, поэтому один из главных критериев в выборе алгоритма – посещение всех точек помещения. Вторым значимым критерий – ограниченная флеш-память Arduino Uno (32 Кб). Исходя из критериев, представленных выше, в качестве алгоритма обхода помещения был выбран алгоритм короеда [23]. Пример работы алгоритма представлен на рисунке 15. Область обхода ограничена темными пикселями. При прохождении участка ячейка закрашивается в серый цвет. Пиксель Р является активным. Соседние пиксели Q, R, S ожидают закрашки. При обходе помещения робот-ищейка находится в центре рассматриваемой области. Помещение разделяется на области по 20 см². Обход производится в соответствии с алгоритмом. При прохождении отмечаются препятствия и пройденные области. Обход завершается, когда внутри области, ограниченной препятствиями, не останется не пройденных областей.

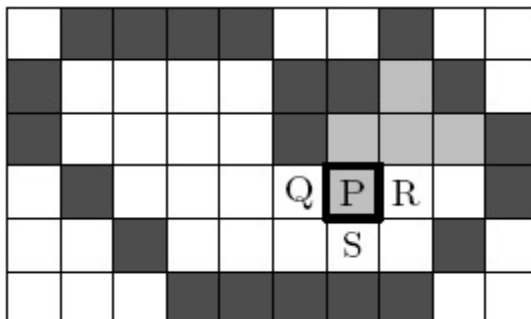
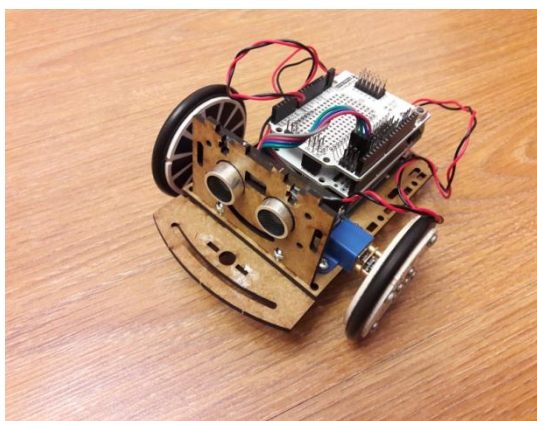
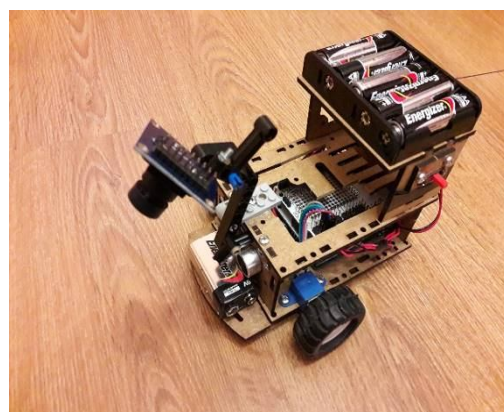


Рисунок 15 – Пример работы алгоритма короеда

После отладки программного блока движения РТС по заданному алгоритму была подключена и настроена камера OV7670. В качестве основного режима работы с камерой был задан YUV. В этом режиме использован первый байт, кодирующий градацию серого цвета. При подключении камеры были задействованы практически все цифровые входы Arduino Uno, камера зафиксирована на регулируемой подставке (рис. 16б).



а



б

Рисунок 16 – а – калибровка моторов, б – крепление камеры к корпусу РТС

В результате съемки получены изображения в формате bmp. Размер полученного изображения 240×320 пикселей, глубина цвета 32. Качество полученных изображений для поисковых целей можно считать удовлетворительным, так как визуально объекты и текст различимы. На рисунке 17 представлено изображение и варианты распознавания объекта на изображении.

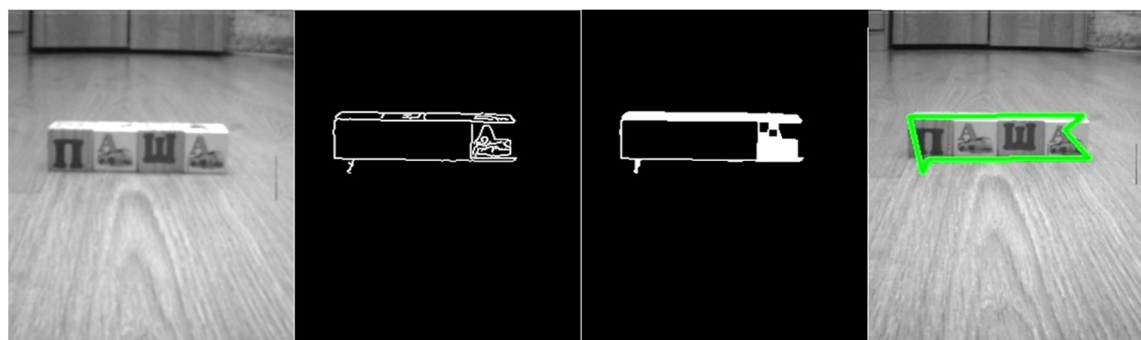


Рисунок 17 – Пример распознавания изображения на объекте

В результате проведенной работы был собран прототип робота-ищейки (рис. 18). Произведены тестовые обходы помещения, подключена и настроена камера, получены изображения объектов в помещении. Время обхода помещения площадью 12 м^2 составило 14 минут. Общее время автономной работы без замены блока питания составило 53 минуты. Фотосъемка должна проводиться при подключении платформы к компьютеру, так как для одновременного подключения моторов, камеры OV7670 и SD-карты на Arduino Uno недостаточно входов. Наиболее простым решением является использование платформы Arduino Mega со значительно большим количеством входов. Целью статьи является демонстрация значения и эффективности использования модульности при проектировании учебных РТС. Для демонстрации принципа модульности достаточно функциональных возможностей платформы Arduino Uno. Работоспособность каждого модуля была протестирована отдельно по принципу модульности. Проведена попытка передачи данных через канал wi-fi. После установления исправности wi-fi-модуля основная программа была объединена с программой для обеспечения работы модуля wi-fi. Для одновременной работы камеры и wi-fi-модуля флеш-памяти Arduino Uno (32 кБ) оказалось недостаточно. Функциональности Arduino Uno достаточно для создания прототипа робота-ищейки, а также выполнения задач его тестирования. В результате создан прототип робота-ищейки (рис. 18), подключена камера, роботом произведена фотосъемка объектов в помещении, проведен тестовый обход помещения площадью 12 м^2 .

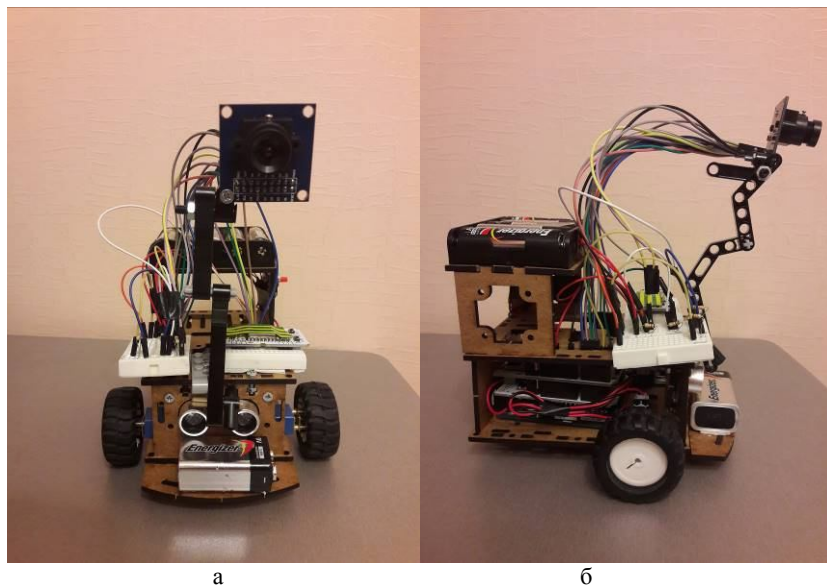


Рисунок 18 – Прототип робота-ищейки

SD card модуль Arduino поддерживает SD-карты до 2 Гб. Размер одного снимка в формате bmp составляет 76 Кб. За один обход РТС может произвести более 20000 снимков. Вес РТС – 276 гр., длина 15 см, ширина 13,6 см, высота – 14 см. Обход помещения возможен при наклоне поверхности не более 5 градусов, трудности могут быть вызваны низкими (менее 5 см) препятствиями. Также прототип не может преодолевать препятствия в виде ступеней. При написании программы для РТС и при тестировании его составляющих был использован принцип модульности, поэтому компоненты РТС могут быть легко заменены.

Заключение. В качестве платформы для оценки эффективности использования принципа модульности применительно к робототехническим проектам была выбрана платформа Arduino Uno. Принцип модульности реализован при создании метеостанции и робота-ищейки. Выявлены основные достоинства модульного подхода при разработке РТС на платформе Arduino. Произведена оценка эффективности использования принципа модульности применительно к проектам разной сложности. Использование принципа модульности позволило выполнять независимое предварительное тестирование отдельных модулей; производить безопасное добавление, удаление или замену модулей; проводить быструю настройку и калибровку отдельных модулей. В процессе реализации принципа модульности была решена задача проверки совместимости модулей, повышена ремонтопригодность системы, уменьшена область поиска возможных программных ошибок.

На данном этапе разрабатываются лабораторные работы для ряда дисциплин кафедры «Системы автоматизированного проектирования» по направлению «Информатика и вычислительная техника», в частности для бакалавров по курсу «Схемотехника», а для магистров по курсу «Технологии проектирования и информационная поддержка жизненного цикла наукоемкой продукции», а также для курса «Технология управления цифровым макетом изделия». Именно при разработке этих лабораторных работ студентам предлагается в рамках задания разработать РТС на основе применения принципа модульности на аппаратном или программном уровне.

Библиографический список

1. Кальченко Е. А. Мониторинг образовательной робототехники и IT-образования города Москвы / Е. А. Кальченко, И. Е. Ступина, Н. В. Мельяновская. – Москва : Издательский центр АНО «АИР», 2017. – 328 с.
2. Гагарина Д. А. Робототехника в России: образовательный ландшафт. Часть 1 / Д. А. Гагарина, С. Г. Косарецкий, А. С. Гагарин. – Москва : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2019. – 108 с.
3. Кузьмина М. В. Образовательная робототехника: сборник методических материалов для работников образования по развитию образовательной робототехники в условиях реализации Федеральных государственных образовательных стандартов / М. В. Кузьмина, А. В. Гребенкин. – Киров : КОГОАУ ДПО «ИРО Кировской области», 2016. – 250 с.
4. Ечмаева Г. А. Подготовка педагогических кадров в области образовательной робототехники / Г. А. Ечмаева // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 325.
5. Комков Н. И. Перспективы и условия развития робототехники в России / Н. И. Комков, Н. Н. Бондарева // Мир (Модернизация. Инновации. Развитие). Сер. 7. – 2016. – № 2 (26). – С. 8–22.

6. Комплексная программа «Развитие образовательной робототехники и непрерывного IT-образования в Российской Федерации»: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 4 сентября 2014 г. № 1726-р // Паспорт комплексной программы. – 2014. – С. 29.
7. Барсуков Д. А. О принципе модульности при создании робототехнических систем на платформе Arduino / Д. А. Барсуков, Т. М. Волосатова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ / Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. – 2019. – Т. 12–3. – С. 44–47.
8. Khoder H. Modular technology in design of flexible complex systems / H. Khoder, G. V. Verkhova, S. V. Akimov // T-Comm. – 2017. – vol. 11, no. 9. – P. 86–90.
9. Андреев В. А. Модульный принцип построения оборудования транспортных телекоммуникационных сетей / В. А. Андреев, В. А. Бурдин, С. Г. Телешевский, В. Ю. Шустанов // T-COMM: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 8. – С. 17–19.
10. Лопота А. В. Этапы и перспективы развития модульного принципа построения робототехнических систем / А. В. Лопота, Е. И. Юрвич // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Сер. Информатика, телекоммуникации и управление. – 2013. – № 1. – С. 98–103.
11. Оспенникова Е. В. Образовательная робототехника как инновационная технология реализации политехнической направленности обучения физике в средней школе / Е. В. Оспенникова, М. Г. Ершов // Педагогическое образование в России / Уральский государственный педагогический университет. – 2015. – № 3. – С. 33–40.
12. Оспенникова Е. В. Применение образовательной робототехники в учебном процессе по физике / Е. В. Оспенникова, М. Г. Ершов // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет». Сер. Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2016. – № 12. – С. 116–141.
13. Ершов М. Г. Использование робототехники в преподавании физики / М. Г. Ершов // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет». Сер. Информационные компьютерные технологии в образовании. – 2012. – № 8. – С. 77–85.
14. Перунова Т. А. Достоинства и недостатки конструкторов, используемых при обучении робототехнике / Т. А. Перунова // Современные научные исследования и разработки / Научный центр «Олимп». – 2019. – № 1 (30). – С. 833–835.
15. Стариченко Е. Б. Применение компьютеров Raspberry Pi в системе образования / Е. Б. Стариченко // Педагогическое образование в России / Уральский государственный педагогический университет. – 2015. – № 7. – С. 137–141.
16. Сергеева А. Одноплатный компьютер Raspberry Pi: от учебного пособия до промышленного контроллера / А. Сергеева, С. Кривандин // Компоненты и технологии. – 2016. – № 4 (177). – С. 96–102.
17. Пономаренко В. И. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте / В. И. Пономаренко, А. С. Караваев // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – Т. 22, № 4. – 2014. – С. 77–90.
18. Conner-Simons A. «Design your own custom drone. CSAIL system lets users design and fabricate drones with a wide range of shapes and structures» / A. Conner-Simons– December, 2016. – Режим доступа: <https://news.mit.edu/2016/design-your-own-custom-drone-1205>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.10.2020).
19. Spice B. «DIY Robot Design» / B. Spice. – June, 2017. – Режим доступа: <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2017/june/diy-robot-design.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 30.10.2020).
20. Барсуков Д. А. Создание метеостанции на базе БПЛА / Д. А. Барсуков, Т. М. Волосатова // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2019. – № 3. – С. 131–134.
21. Брумштейн Ю. Робототехнические системы: вопросы разработки / Ю. Брумштейн, М. Ильменский, И. Колесников // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. – 2016. – С. 49–64.
22. Барсуков Д. А. Создание робота-ищейки / Д. А. Барсуков, Т. М. Волосатова // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2019. – № 3. – С. 6–9.
23. Хропов А. Алгоритмические основы растровой графики / А. Хропов, А. Карпов, В. Лемпицкий, Е. Иванов. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 304 с.

References

1. Kalchenko E. A., Stupina I. E., Melyanovskaya N. V. *Monitoring obrazovatelnoy robototekhniki i IT-obrazovaniya goroda Moskvy* [Monitoring of educational robotics and IT education in the city of Moscow]. Moscow, Publishing Center ANO "AIR", 2017. 328 p.
2. Gagarina D. A., Kosaretskiy S. G., Gagarin A. S. *Robototekhnika v Rossii: obrazovatelnyy landshaft. Chast 1* [Robotics in Russia: Educational Landscape. Part 1]. Moscow, National Research University "Higher School of Economics", 2019. 108 p.
3. Kuzmina M. V. *Obrazovatel'naya robototekhnika : sbornik metodicheskikh materialov dlya rabotnikov obrazovaniya po razvitiyu obrazovatelnoy robototekhniki v usloviyakh realizatsii Federalnykh gosudarstvennykh obrazovatelnykh standartov* [Educational robotics: a collection of teaching materials for educators on the development of educational robotics in the context of the implementation of federal state educational standards]. Kirov, 2016. 250 p.
4. Echmaeva G. A. *Podgotovka pedagogicheskikh kadrov v oblasti obrazovatelnoy robototekhniki* [Training of teaching staff in the field of educational robotics]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 2, p. 325.

5. Komkov N. I., Bondareva N. N. Perspektivy i usloviya razvitiya robototekhniki v Rossii [Prospects and conditions for the development of robotics in Russia]. *Mir (Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitiye)* [World (Modernization. Innovation. Development)], 2016, vol. 7, № 2 (26), pp. 8–22.
6. Kompleksnaya programma «Razvitie obrazovatelnoy robototekhniki i nepreryvnogo IT-obrazovaniya v Rossiyskoy Federatsii»: Rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii [Comprehensive program “Development of educational robotics and continuous IT education in the Russian Federation”: Order of the Government of the Russian Federation], September 4, 2014, no. 1726-r, 2014. 29 p.
7. Barsukov D. A., Volosatova T. M. O printsipe modularnosti pri sozdanii robototekhnicheskikh sistem na platforme Arduino [On the principle of modularity when creating robotic systems on the Arduino platform]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh* [Mathematical methods in engineering and technology], 2019, vol. 12–3, pp. 44–47.
8. Khoder H., Verkhova G. V., Akimov S. V. «Modular technology in design of flexible complex systems». *T-Comm*, 2017, vol. 11, no. 9, pp. 86–90.
9. Andreev V. A., Burdin V. A., Teleshevskiy S. G., Shustanov V. Yu. Modulnyy printsip postroeniya oborudovaniya transportnykh telekommunikatsionnykh setey [Modular principle of construction of equipment for transport telecommunication networks]. *T-COMM: Telekommunikatsii i transport* [T-COMM: Telecommunications and Transport], 2013, vol. 7, no. 8, pp. 17–19.
10. Lopota A. V., Yurevich E. I. Etapy i perspektivy razvitiya modulnogo printsipa postroeniya robototekhnicheskikh sistem [Stages and prospects for the development of the modular principle of building robotic systems]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnic University], 2013, no. 1, pp. 98–103.
11. Ospennikova E. V., Ershov M. G. Obrazovatel'naya robototekhnika kak innovatsionnaya tekhnologiya realizatsii politekhnicheskoy napravlenosti obucheniya fizike v sredney shkole [Educational robotics as an innovative technology for the implementation of the polytechnic orientation of teaching physics in secondary school]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii* [Pedagogical Education in Russia], 2015, no. 3, pp. 33–40.
12. Ospennikova E. V., Ershov M. G. Primenenie obrazovatelnoy robototekhniki v uchebnom protsesse po fizike [Application of educational robotics in the educational process in physics]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta* [Journal of the Perm state humanitarian pedagogical university], 2016, no. 12, pp. 116–141.
13. Ershov M. G. Ispolzovanie robototekhniki v prepodavanii fiziki [The use of robotics in teaching physics]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta* [Journal of the Perm State Humanitarian Pedagogical University], 2012, no. 8, pp. 77–85.
14. Perunova T. A. Dostoinstva i nedostatki konstruktorov, ispolzuemykh pri obuchenii robototekhnike [Advantages and disadvantages of constructors used in teaching robotics]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki* [State of the art research and development], 2019, no. 1 (30), pp. 833–835.
15. Starichenko E. B. Primenenie kompyuterov Raspberry Pi v sisteme obrazovaniya [The use of Raspberry Pi computers in the education system]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii* [Pedagogical Education in Russia], 2015, no. 7, pp. 137–141.
16. Sergeeva A., Krivandin S. Odnoplanny kompyuter Raspberry Pi: ot uchebnogo posobiya do promyshlennogo kontrollera [Raspberry Pi Single Board Computer: From Tutorial to Industrial Controller]. *Komponenty i tekhnologii* [Components and Technologies], 2016, no. 4 (177), pp. 96–102.
17. Ponomarenko V. I., Karavaev A. S. Ispolzovanie platformy Arduino v izmereniyakh i fizicheskom eksperimente [Using the Arduino Platform in Measurements and Physics Experiment]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Prikladnaya nelineynaya dinamika* [Proceedings of higher educational institutions. Applied nonlinear dynamics], 2014, vol. 22, no. 4, pp. 77–90.
18. Conner-Simons A. «Design your own custom drone. CSAIL system lets users design and fabricate drones with a wide range of shapes and structures», December, 2016. Available: <https://news.mit.edu/2016/design-your-own-custom-drone-1205> (accessed 30.10.2020).
19. Spice B. «DIY Robot Design», June, 2017. Available: <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2017/june/diy-robot-design.html> (accessed 30.10.2020).
20. Barsukov D. A., Volosatova T. M. Sozдание meteostantsiy na baze BPLA [Creation of a meteorological station based on UAVs]. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika* [Mechatronics, Automation and Robotics], 2019, no. 3, pp. 131–134.
21. Brumshteyn Yu., Ilmenskiy M., Kolesnikov I. Robototekhnicheskie sistemy: voprosy razrabotki [Robotic systems: development issues]. *Intellektualnaya sobstvennost. Avtorskoe pravo i smezhnye prava* [Intellectual property. Copyright and related rights]. 2016, pp. 49–64.
22. Barsukov D. A., Volosatova T. M. Sozдание robota-ishcheyki [The search robot creation]. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika* [Mechatronics, Automation and Robotics], 2019, no. 3, pp. 6–9.
23. Khropov A., Karpov A., Lempitskiy V., Ivanov E. *Algoritmicheskie osnovy rastrovoy grafiki* [Algorithmic foundations of raster graphics]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2007. 304 p.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются материалы на английском и русском языках по тематике, соответствующей утвержденным для журнала отраслям наук, группам специальностей.

2. В список соавторов работ включаются только те лица, которые внесли творческий вклад в подготовку представленных материалов. Лицам, оказавшим только техническую помощь, можно выразить благодарность в конце статьи. Один человек может быть автором (соавтором) не более чем двух статей в одном номере журнала, причем единственным автором он может быть только в одной статье.

3. Объем публикаций для научных статей должен быть не менее 8 страниц, а количество источников в библиографическом списке (списке литературы) – не менее 10 позиций.

4. Содержание каждой статьи должно включать следующие элементы: УДК; название статьи; сведения об авторах, включая их место работы, должность, адрес электронной почты; аннотацию объемом от 100 до 250 слов, ключевые слова (от 9 до 13); графическую аннотацию, отражающую содержание статьи; название статьи, сведения об авторах, аннотацию и ключевые слова на английском языке (для англоязычных статей – на русском языке); введение – оно должно заканчиваться формулировкой цели работы в явной форме; собственно текст статьи – очень желательна его сегментация на разделы, имеющие содержательные заголовки; выводы или заключение (должны соответствовать формулировке цели статьи).

5. Для русскоязычных статей приводится два библиографических списка: на языке оригинала статьи; список с транслитерацией русскоязычных источников на латиницу и (дополнительно) приведением в квадратных скобках переводов названий статей и названий источников на английский язык.

В «русскоязычном» библиографическом списке (списке литературы) порядок следования источников – по алфавиту фамилий авторов (начала русскоязычные источники, потом иноязычные). На все источники, включенные в библиографический список, должны быть даны ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. При необходимости авторы могут указывать номера страниц в источниках, на которые даются ссылки. Приветствуются ссылки на иноязычные источники, а также на материалы, опубликованные ранее в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Однако в последнем случае количество таких ссылок не должно превышать 20 % от общего количества источников, включенных в библиографический список. Для источников, имеющих DOI, целесообразно его указывать. При ссылках на статьи, опубликованные в журнале «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии», целесообразно в конце библиографического описания источника в круглых скобках указывать гиперссылку, указывающую на место размещения статьи на странице сайта Астраханского государственного университета.

Ссылки в библиографическом списке на материалы, размещенные в интернете, допускаются при соблюдении следующих условий: если у материала, на который дается ссылка, имеется автор и/или название, то они должны быть указаны для этого источника; должен быть приведен полный маршрут доступа к источнику в интернете; должна быть указана дата обращения (доступа) к источнику.

Ограничения по списку литературы: доля самоцитирований для любого из авторов статьи, а также по совокупности всех авторов статьи, не должна превышать 25 %; доля ссылок на статьи с участием одного автора, не являющегося автором (соавтором) статьи, не должна превышать 25 %.

6. Суммарная доля таблиц и иллюстраций в общем объеме представляемой статьи не должна превышать 40 %. Под иллюстрациями понимаются следующие объекты: диаграммы; графики; рисунки; эскизы; фотографии; карты и т.п.

7. Доля оригинального текста в статьях (оцениваемого через систему «Антиплагиат» на сайте www.antiplagiat.ru) должна быть не менее 80 %.

8. Указание на то, что работа финансируется по какому-либо гранту, в рамках Федеральной целевой программы, государственного заказа и пр. дается в виде постраничной сноски после заголовка (названия) работы.

9. В сведения об авторах работ помимо места работы и должности целесообразно включать ORCID автора и гиперссылку на страничку с его личными наукометрическими показателями на сайте www.elibrary.ru. По желанию можно привести также ссылки на странички с наукометрическими показателями на Scopus, в ResearchGate; на личную страничку, размещенную на сайте организации.

10. Основные технические требования к оформлению статей (материалов):

10.1. Текст должен быть расположен по ширине страницы формата А4 с учётом полей (все поля по 2,5 см), набран шрифтом Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,0. В таблицах, подрисовочных надписях допускается уменьшенный шрифт – вплоть до 10 кегля. Альбомная ориентация страниц допускается только в порядке исключения для следующих случаев: широкоформатные таблицы с большим количеством колонок; иллюстрации большого размера, которые не уместятся на странице с книжной ориентацией.

Абзацные отступы одинаковы по всему тексту – 1,25 см. Кавычки («»), скобки ([], ()), маркеры и другие знаки должны быть аналогичными на протяжении всего предоставляемого для публикации материала.

10.2. Все таблицы, рисунки, формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Заголовки таблиц пишутся над ними и должны включать в себя номер таблицы и ее содержательное наименование.

10.3 Формулы должны иметь сквозную нумерацию в пределах текста статьи. Для формул желательно избегать «многоэтажных конструкций». Нумероваться могут только те формулы, на которые есть ссылки в статье. Размеры шрифтов для формул в MS Equation Editor: основные символы – 14 пт.; подстрочные и надстрочные индексы – 10 пт.; дополнительные индексы для подстрочных и надстрочных индексов – 8 пунктов. Константы в формулах записываются прямым шрифтом, переменные – курсивом (наклонным шрифтом); векторные и матричные величины – полужирным шрифтом. Матричные величины могут указываться в квадратных скобках, векторные величины (наборы скаляров) – в фигурных скобках.

Дополнительная информация для авторов статей

Основная тематика журнала и требования к научному уровню представляемых статей – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trebovaniya.pdf>.

Адрес и телефоны редакционно-издательского дома – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/address.pdf>.

Пример оформления текста статьи – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/primer.pdf>.

Рекомендации по оформлению графических аннотаций – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/graf_ann.pdf, дополнительных материалов к статьям – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_mat.pdf.

Подробные правила оформления таблиц – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/tables.pdf>, оформления формул – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/formul.pdf>, оформления иллюстраций – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/ilustr.pdf>.

Пример оформления основного списка литературы к статье – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/spisok_liter.pdf, транслитерированного списка – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/trasn_spisok_liter.pdf.

Дополнительные документы к статьям, предоставляемые авторами – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/dop_doc.pdf.

Переписка с авторами и порядок рецензирования статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_recenz.pdf.

Условия и порядок оплаты статей – http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/ru-rules/poryadok_oplaty.pdf.

RULES FOR THE AUTHORS – <http://hi-tech.asu.edu.ru/docs/en-rules/rules-for-authors.pdf>.

**Подписка на наши издания осуществляется
по Объединённому каталогу «Пресса России»**

Журнал фундаментальных и прикладных исследований «Гуманитарные исследования»

Подписной индекс – 11109

В журнале публикуются статьи по широкому спектру проблем гуманитарного знания. Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Языкознание», «Литературоведение».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3762 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Геология, география и глобальная энергия»

Подписной индекс – 11173

Редколлегия журнала принимает к рассмотрению статьи по проблемам геологии, нефтегазоносности различных регионов, охватывающие важнейшие и крайне полезные для науки и производства, а также для обучения студентов естественного направления.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 4500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научный журнал «Каспийский регион: политика, экономика, культура»

Подписной индекс – 11170

Профиль журнала – анализ проблем настоящего, прошлого и будущего Каспийского региона в их взаимосвязи с современным развитием мира.

Издание имеет многоплановый, междисциплинарный характер, знакомит читателя с исследованиями и дискуссиями во всех областях социальных и гуманитарных знаний по проблемам Каспийского региона.

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 3500 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Научно-технический журнал «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии»

Подписной индекс – 73313

На страницах журнала представлены результаты исследований и новейшие разработки в области технических наук.

Ведущие направления публикаций отражены в следующих рубриках: «Управление в социальных и экономических системах», «Системный анализ, управление и обработка информации», «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», «Информационная безопасность и защита информации», «Информационно-измерительные и управляющие системы».

Периодичность издания – 4 раза в год.

Ориентировочная стоимость одного номера – 9000 руб.

Телефон: (8512) 24-64-95. E-mail: asupress@yandex.ru

Предлагаем всем желающим разместить в наших изданиях рекламу.

Адрес Издательского дома «Астраханский университет»:

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а; тел. (8512) 24-64-95, 24-68-37

e-mail: asupress@yandex.ru

ПРИКАСПИЙСКИЙ ЖУРНАЛ: **управление и высокие технологии**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020
№ 4 (52)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Федеральной службы по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия
ПИ № ФС77-31932 от 16 мая 2008 г.

Учредитель
Астраханский государственный университет
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Адрес редакции:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20

Адрес издателя:
Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

Подписной индекс – 73313
По Объединенному каталогу «Пресса России»

Главный редактор И.М. Ажмухамедов

Редактирование,
компьютерная правка, верстка *Н.Н. Сахно*

Дата выхода в свет 10.12.2020 г.

Цена свободная
Уч.-изд. 12,6. Усл. печ. л. 17,6.
Заказ № 4245. Тираж 500 экз. (первый завод – 22 экз.)

Оттиражировано на базе Издательского дома «Астраханский университет»
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
Тел. (8512) 24-64-95, тел./факс (8512) 24-68-37
E-mail: asupress@yandex.ru